

Rec'd PCT/PTO 24 MAR 2005

PCT/JP 03/12101

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

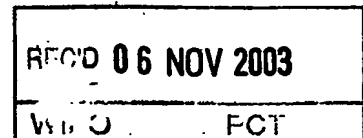
22.09.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2002年 9月24日

出 願 番 号
Application Number: 特願2002-278246
[ST. 10/C]: [JP 2002-278246]



出 願 人
Applicant(s):

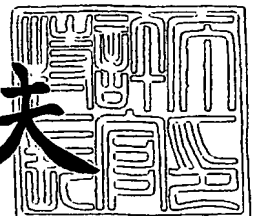
コニカミノルタホールディングス株式会社
シャープ株式会社
独立行政法人産業技術総合研究所

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年10月23日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 DKY00792

【提出日】 平成14年 9月24日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B41J 2/015
B41J 2/135

【発明者】

【住所又は居所】 東京都日野市さくら町1番地 コニカ株式会社内

【氏名】 西 泰男

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

【氏名】 樋口 馨

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 村田 和広

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 横山 浩

【特許出願人】

【持分】 034/100

【識別番号】 000001270

【氏名又は名称】 コニカ株式会社

【特許出願人】

【持分】 033/100

【識別番号】 000005049

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【特許出願人】

【持分】 033/100

【識別番号】 301021533

【氏名又は名称】 独立行政法人 産業技術総合研究所

【代理人】

【識別番号】 100090033

【弁理士】

【氏名又は名称】 荒船 博司

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 027188

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 液滴吐出ヘッドの製造方法、液滴吐出ヘッドの駆動方法及び液体吐出装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

先端部から溶液を液滴として吐出する複数のノズルを有する液滴吐出ヘッドを製造する製造方法において、

基板上に複数の電極を形成し、前記複数の電極全体を被覆するようにして前記基板上に感光性樹脂層を形成し、前記感光性樹脂層を露光・現像することによって、前記感光性樹脂層をそれぞれの前記電極に対応させて前記基板に対して立設するとともにノズル径が $30\ \mu\text{m}$ 以下のノズル形状に形成するとともに、それぞれの前記ノズル形状内に当該ノズル形状の先端部から当該電極まで通ずるようにノズル内流路を形成することを特徴とする液滴吐出ヘッドの製造方法。

【請求項 2】

少なくともそれぞれの前記ノズル内流路の内面を絶縁性とするとともに、前記ノズル内流路の内面よりも外側に流動供給用電極を設けることを特徴とする請求項 1 に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法。

【請求項 3】

前記ノズル形状のノズル径が $20\ \mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法。

【請求項 4】

前記ノズル形状のノズル径が $8\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 3 に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法。

【請求項 5】

前記ノズル形状のノズル径が $4\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 4 に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 の何れか一項に記載された液滴吐出ヘッドの製造方法によって製造された液滴吐出ヘッドを駆動する駆動方法において、

それぞれの前記ノズル形状の先端部を基材に対向させ、それぞれの前記ノズル内流路に帯電可能な溶液を供給し、前記複数の電極個別に吐出電圧を印加することを特徴とする液滴吐出ヘッドの駆動方法。

【請求項 7】

それぞれの前記ノズル内流路の溶液が当該ノズル形状の先端部から凸状に盛り上がった状態を形成することを特徴とする請求項 6 に記載の液滴吐出ヘッドの駆動方法。

【請求項 8】

それぞれの前記ノズル内流路の溶液が当該ノズル形状の先端部から凸状に盛り上がった状態を形成した時に当該電極に吐出電圧を印加することを特徴とする請求項 7 に記載の液滴吐出ヘッドの駆動方法。

【請求項 9】

請求項 1 から 5 の何れか一項に記載された液滴吐出ヘッドの製造方法によって製造された液滴吐出ヘッドを備え、それぞれの前記ノズル形状の先端部が基材に対向して配置されている液体吐出装置であって、

それぞれの前記ノズル内流路に帯電可能な溶液を供給する溶液供給手段と、
前記複数の電極個別に吐出電極を印加する吐出電圧印加手段と、を更に備えることを特徴とする液体吐出装置。

【請求項 1 0】

それぞれの前記ノズル内流路の溶液が当該ノズル形状の先端部から凸状に盛り上がった状態を形成する凸状メニスカス形成手段を、更に備えることを特徴とする請求項 9 に記載の液体吐出装置。

【請求項 1 1】

前記吐出電圧印加手段は、前記凸状メニスカス形成手段がそれぞれの前記ノズル内流路の溶液が当該ノズル形状の先端部から凸状に盛り上がった状態を形成した時に当該電極に吐出電圧を印加することを特徴とする請求項 1 0 に記載の液体吐出装置。

【請求項 1 2】

前記凸状メニスカス形成手段は、それぞれの前記ノズル形状に対応して設けら

れた圧電素子を有し、それぞれの前記圧電素子は変形によって当該ノズル内流路の溶液の圧力を変化させることを特徴とする請求項10又は11に記載の液体吐出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、基材に液滴を吐出する液滴吐出ヘッドを製造する液滴吐出ヘッドの製造方法、その液滴吐出ヘッドを駆動する液滴吐出ヘッドの駆動方法及びその液滴吐出ヘッドを備えた液体吐出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来のインクジェット記録方式としては、圧電素子の振動によりインク流路を変形させることによりインク液滴を吐出させるピエゾ方式、インク流路内に発熱体を設け、その発熱体を発熱させて気泡を発生させ、気泡によるインク流路内の圧力変化に応じてインク液滴を吐出させるサーマル方式、インク流路内のインクを帯電させてインクの静電吸引力によりインク液滴を吐出させる静電吸引方式が知られている。

【0003】

【特許文献1】

特開平8-238774号公報

【特許文献2】

特開2000-127410号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記各従来例には以下の問題があった。

(1) 微小液滴形成の安定性

ノズル径が大きいと、ノズルから吐出される液滴の形状が安定しない。

(2) 微小液滴の着弾精度の不足

ノズルから吐出した液滴に付与される運動エネルギーは、液滴半径の3乗に比

例して小さくなる。このため、微小液滴は空気抵抗に耐えるほどの十分な運動エネルギーを確保できず、空気対流などによる擾乱を受け、正確な着弾が期待出来ない。さらに、液滴が微小になるほど、表面張力の効果が増すために、液滴の蒸気圧が高くなり蒸発量が激しくなる。このため微小液滴は、飛翔中の著しい質量の消失を招き、着弾時に液滴の形態を保つことすら難しいという事情があった。

以上のように液滴の微小化と高精度化は、相反する課題であり、両方を同時に実現することは困難であった。

この着弾位置精度の悪さは、印字画質を低下させるのみならず、例えばインクジェット技術により導電性インクを用いて回路の配線パターンを描画する際には特に大きな問題となる。すなわち、位置精度の悪さは所望の太さの配線が描画出来ないばかりか、断線やショートを生ずることさえあり得る。

(3) 高印加電圧

従来の静電吸引方式の原理では、メニスカスの中心に電荷を集中させてメニスカスの隆起を発生する。この隆起したテーラーコーン先端部の曲率半径は、電荷の集中量により定まり、集中した電荷量と電界強度による静電力がそのときのメニスカスの表面張力より勝った時に液滴の分離が始まる。

メニスカスの最大電荷量は、インクの物性値とメニスカス曲率半径により定まるため、最小の液滴のサイズはインクの物性値（特に表面張力）とメニスカス部に形成される電界強度により定まる。

一般的に、液体の表面張力は純粋な溶媒よりも溶剤を含んだ方が表面張力は低くなる傾向があり、実際のインクにおいても種々の溶剤を含んでいるため、表面張力を高くすることは難しい。このため、インクの表面張力を一定と考え、電界強度を高くすることにより液滴サイズを小さくする方法が採られていた。

従って、上記の特許文献1, 2に開示されたインクジェット装置では、両者とも吐出原理として、吐出液滴の投影面積よりもはるかに広い面積のメニスカス領域に強い電界強度のフィールドを形成することにより該メニスカスの中心に電荷を集中させ、該集中した電荷と形成している電界強度からなる静電力により吐出を行うため、2000[V]に近い非常に高い電圧を印加する必要があり、駆動制御が難しいと共に、インクジェット装置を操作するうえでの安全性の面からも問題があ

った。

(4) 吐出応答性

上記の特許文献 1, 2 に開示されたインクジェット装置では、両者とも吐出原理として、吐出液滴の投影面積よりもはるかに広い面積のメニスカス領域に強い電界強度のフィールドを形成することにより該メニスカスの中心に電荷を集中させ、該集中した電荷と形成している電界強度からなる静電力により吐出を行うため、メニスカス部の中心に電荷が移動するための電荷の移動時間が吐出応答性に影響し、印字速度の向上において問題となっていた。

【0005】

そこで、微小液滴を吐出可能な液滴吐出ヘッドを提供することを第一の目的とする。また同時に、安定した液滴を吐出することが可能な液滴吐出ヘッドを提供することを第二の目的とする。さらに、微小液滴を吐出可能で、且つ着弾精度のより液滴吐出ヘッドの提供を第三の目的とする。さらに、印加電圧を低減することが可能な液滴吐出ヘッドを提供することを第四の目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

以上の課題を解決するために、請求項 1 に記載の発明は、

先端部から溶液を液滴として吐出する複数のノズルを有する液滴吐出ヘッドを製造する製造方法において、

基板上に複数の電極を形成し、前記複数の電極全体を被覆するようにして前記基板上に感光性樹脂層を形成し、前記感光性樹脂層を露光・現像することによって、前記感光性樹脂層をそれぞれの前記電極に対応させて前記基板に対して立設するとともにノズル径が $30\ \mu\text{m}$ 以下のノズル形状に形成するとともに、それぞれの前記ノズル形状内に当該ノズル形状の先端部から当該電極まで通ずるようにノズル内流路を形成することを特徴とする。

【0007】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法であって、

少なくともそれぞれの前記ノズル内流路の内面を絶縁性とするともに、前記ノ

ズル内流路の内面よりも外側に流動供給用電極を設けることを特徴とする。

【0008】

請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法であって、

前記ノズル形状のノズル径が $20\mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする。

【0009】

請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法であって、

前記ノズル形状のノズル径が $8\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0010】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の液滴吐出ヘッドの製造方法であって、

前記ノズル形状のノズル径が $4\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0011】

請求項6に記載の発明は、請求項1から5の何れか一項に記載された液滴吐出ヘッドの製造方法によって製造された液滴吐出ヘッドを駆動する駆動方法において、

それぞれの前記ノズル形状の先端部を基材に対向させ、それぞれの前記ノズル内流路に帯電可能な溶液を供給し、前記複数の電極個別に吐出電圧を印加することを特徴とする。

【0012】

請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の液滴吐出ヘッドの駆動方法において、

それぞれの前記ノズル内流路の溶液が当該ノズル形状の先端部から凸状に盛り上がった状態を形成することを特徴とする。

【0013】

請求項8に記載の発明は、請求項7に記載の液滴吐出ヘッドの駆動方法において、

それぞれの前記ノズル内流路の溶液が当該ノズル形状の先端部から凸状に盛り

上がった状態を形成した時に当該電極に吐出電圧を印加することを特徴とする。

【0014】

請求項9に記載の発明は、請求項1から5の何れか一項に記載された液滴吐出ヘッドの製造方法によって製造された液滴吐出ヘッドを備え、それぞれの前記ノズル形状の先端部が基材に対向して配置されている液体吐出装置であって、

それぞれの前記ノズル内流路に帯電可能な溶液を供給する溶液供給手段と、
前記複数の電極個別に吐出電極を印加する吐出電圧印加手段と、を更に備えることを特徴とする。

【0015】

請求項10に記載の発明は、請求項9に記載の液体吐出装置において、
それぞれの前記ノズル内流路の溶液が当該ノズル形状の先端部から凸状に盛り上がった状態を形成する凸状メニスカス形成手段を、更に備えることを特徴とする。

【0016】

請求項11に記載の発明は、請求項10に記載の液体吐出装置において、
前記凸状メニスカス形成手段は、それぞれの前記ノズル形状に対応して設けられた圧電素子を有し、それぞれの前記圧電素子は変形によって当該ノズル内流路の溶液の圧力を変化させることを特徴とする。

【0017】

請求項12に記載の発明は、請求項10又は11に記載の液体吐出装置において、
前記凸状メニスカス形成手段は、それぞれの前記ノズル形状に対応して設けられた圧電素子を有し、それぞれの前記圧電素子は変形によって当該ノズル内流路の溶液の圧力を変化させることを特徴とする。

【0018】

ここで、本発明において、ノズル径とはノズル形状の先端部の内部直径をいう。

本発明では、ノズルを従来にない超微細径とすることでノズル先端部に電界を集中させて電界強度を高めることに特徴がある。ノズルの小径化に関しては後の

記載により詳述する。かかる場合、ノズルの先端部に対向する対向電極がなくとも液滴の吐出を行うことが可能である。例えば、対向電極が存在しない状態で、ノズル先端部に対向させて基材を配置した場合、当該基材が導体である場合には、基材の受け面を規準としてノズル先端部の面对称となる位置に逆極性の鏡像電荷が誘導され、基材が絶縁体である場合には、基材の受け面を規準として基材の誘電率により定まる対称位置に逆極性の映像電荷が誘導される。そして、ノズル先端部に誘起される電荷と鏡像電荷又は映像電荷間での静電力により液滴の飛翔が行われる。

但し、本発明の構成は、対向電極を不要とすることを可能とするが、対向電極を併用しても構わない。対向電極を併用することで、ノズル-対向電極間での電界による静電力を飛翔電極の誘導のために併用することも可能となるし、対向電極を接地すれば、帯電した液滴の電荷を対向電極を介して逃がすことができ、電荷の蓄積を低減する効果も得られるので、むしろ併用することが望ましい構成といえる。

【0019】

また、請求項7又は10に記載の発明では、それぞれのノズル形状の先端部においてノズル内流路の溶液が先端部から凸状に盛り上がっているため、溶液の凸状の部分において電界が集中し、電界強度が非常に高まる。そのため、電極に印加する電圧が低くても、溶液の表面張力を抗して、液滴が先端部から吐出し、液滴の飛翔が行われる。

【0020】

請求項3に記載の発明のように、ノズル径を20 [μm] 未満とすることにより、電界強度分布が狭くなる。このことにより、電界を集中させることができる。その結果、形成される液滴を微小で且つ形状の安定化したものとすることができると共に、総印加電圧を低減することができる。また、液滴は、ノズル形状から吐出された直後、電界と電荷の間に働く静電力により加速されるが、ノズル形状から離れると電界は急激に低下するので、その後は、空気抵抗により減速する。しかしながら、微小液滴でかつ電界が集中した液滴は、基材や対向電極に近づくにつれ、鏡像力により加速される。この空気抵抗による減速と鏡像力による加

速とのバランスをとることにより、微小液滴を安定に飛翔させ、着弾精度を向上させることが可能となる。

また、ノズル形状の内部直径は、8 [μm] 以下であることが好ましい。ノズル形状の内部直径を 8 [μm] 以下とすることにより、さらに電界を集中させることが可能となり、さらなる液滴の微小化と、飛翔時に対向電極や基材の距離の変動が電界強度分布に影響することを低減させることができるので、対向電極や基材の位置精度や基材の特性や厚さの液滴形状への影響や着弾精度への影響を低減することができる。

さらに、ノズル形状の内部直径を 4 [μm] 以下とすることにより、顕著な電界の集中を図ることができ、最大電界強度を高くすることができ、形状の安定な液滴の超微小化と、液滴の初期吐出速度を大きくすることができる。これにより、飛翔安定性が向上することにより、着弾精度をさらに向上させ、吐出応答性を向上することができる。

また、ノズル形状の内部直径は 0.2 [μm] より大きい方が望ましい。ノズル形状の内径を 0.2 [μm] より大きくすることで、液滴の帯電効率を向上させることができるので、液滴の吐出安定性を向上させることができる。

さらに、上記各請求項の構成において、

(1) ノズル形状（つまり、感光性樹脂層）を電気絶縁材で形成するとともにノズル形状内に電極を挿入し又は又はメッキ形成することが好ましい。

(2) 上記各請求項の構成又は上記 (1) の構成において、ノズル形状（つまり、感光性樹脂層）を電気絶縁材で形成し且つノズル形状の外側に電極を設けるとともに、ノズル形状内に電極を挿入し又はメッキ形成することが好ましい。

(1) 及び (2) により、上記各請求項による作用効果に加え、吐出力を向上させることができるので、ノズル径をさらに微小化しても、低電圧で液を吐出することができる。

(3) 上記各請求項の構成、上記 (1) 又は (2) の構成において、基材を導電性材料または絶縁性材料により形成することが好ましい。

(4) 上記各請求項の構成、上記 (1)、(2) 又は (3) の構成において、ノズル形状に印加する電圧 V を

【数 1】

$$h \sqrt{\frac{\gamma\pi}{2\epsilon_0 r}} > V > \sqrt{\frac{2\gamma r}{k\epsilon_0}} \quad (15)$$

で表される流域において駆動することが好ましい。

ただし、 γ ：液体の表面張力、 ϵ_0 ：真空の誘電率、 r ：ノズル半径、 h ：ノズル形状－基材間距離、 k ：ノズル形状に依存する比例定数（ $1.5 < k < 8.5$ ）とする。

（５）上記各請求項の構成、上記（１）、（２）、（３）又は（４）の構成において、印加する任意波形電圧が 1000 [V] 以下であることが好ましい。

（６）上記各請求項の構成、上記（１）、（２）、（３）、（４）又は（５）の構成において、印加する任意波形電圧が 500 [V] 以下であることが好ましい。

（７）上記各請求項の構成、上記（１）～（６）いずれかの構成において、ノズル形状と基材との距離が 500 [μm] 以下とすることが、ノズル径を微細にした場合でも高い着弾精度を得ることができるので好ましい。

（８）上記各請求項の構成、上記（１）～（７）いずれかの構成において、ノズル内の溶液に圧力を印加するように構成することが好ましい。

（９）上記各請求項の構成、上記（１）～（８）いずれかの構成において、単一パルスによって吐出する場合、

【数 2】

$$\tau = \frac{\epsilon}{\sigma} \quad (20)$$

により決まる時定数 τ 以上のパルス幅 Δt を印加する構成としても良い。ただし、 ϵ ：流体の誘電率、 σ ：導電率とする。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の具体的な態様を説明する。

【0022】

以下の実施形態で説明する液体吐出装置に備わった各ノズルのノズル径（内部直径）は、30 [μm] 以下であることが好ましく、さらに好ましくは20 [μm] 未満、さらに好ましくは8 [μm] 以下、さらに好ましくは4 [μm] 以下とすることが好ましい。また、ノズル径は、0.2 [μm] より大きいことが好ましい。以下、ノズル径と電界強度との関係について、図1～図6を参照しながら以下に説明する。図1～図6に対応して、ノズル径を $\phi 0.2$, 0.4 , 1 , 8 , 20 [μm] 及び参考として従来にて使用されているノズル径 $\phi 50$ [μm] の場合の電界強度分布を示す。

ここで、各図において、ノズル中心位置とは、ノズルの液体吐出孔の液体吐出面の中心位置を示す。また、各々の図の（a）は、ノズルと対向電極との距離が2000 [μm] に設定されたときの電界強度分布を示し、（b）は、ノズルと対向電極との距離が100 [μm] に設定されたときの電界強度分布を示す。なお、印加電圧は、各条件とも200 [V] と一定にした。図中の分布線は、電荷強度が 1×10^6 [V/m] から 1×10^7 [V/m] までの範囲を示している。

図7に、各条件下での最大電界強度を示す図表を示す。

図1～図6から、ノズル径が $\phi 20$ [μm]（図5）以上だと電界強度分布は広い面積に広がっていることが分かった。また、図7の図表から、ノズルと対向電極の距離が電界強度に影響していることも分かった。

これらのことから、ノズル径が $\phi 8$ [μm]（図4）以下であると電界強度は集中すると共に、対向電極の距離の変動が電界強度分布にほとんど影響することがなくなる。従って、ノズル径が $\phi 8$ [μm] 以下であれば、対向電極の位置精度及び基材の材料特性のバラ付きや厚さのバラツキの影響を受けずに安定した吐出が可能となる。ここで、1 [p l] の液適量のインク2を吐出するには、ノズル径を $\phi 10$ [μm] にする必要があるので、上記のように、ノズル径が8 [μm] 以下であれば、液適量が1 [p l] 以下にすることは可能である。

次に、上記ノズルのノズル径のメニスカス部の最大電界強度と強電界領域の関係を図8に示す。

図 8 に示すグラフから、ノズル径が $\phi 4$ [μm] 以下になると、電界集中が極端に大きくなり最大電界強度を高くすることができるのが分かった。これによって、溶液の初期吐出速度を大きくすることができるので、液滴の飛翔安定性が増すと共に、メニスカス部での電荷の移動速度が増すために吐出応答性が向上する。

続いて、吐出した液滴における帯電可能な最大電荷量について、以下に説明する。液滴に帯電可能な電荷量は、液滴のレイリー分裂（レイリー限界）を考慮した以下の（5）式で示される。

$$q = 8 \times \pi \times (\epsilon_0 \times \gamma \times r^3)^{1/2} \quad (5)$$

ここで、 q はレイリー限界を与える電荷量、 ϵ_0 は真空の誘電率、 γ はインクの表面張力、 r はインク液滴の半径である。

上記（5）式で求められる電荷量 q がレイリー限界値に近いほど、同じ電界強度でも静電力が強く、吐出の安定性が向上するが、レイリー限界値に近すぎると、逆にノズルの液体吐出孔で溶液の霧散が発生してしまい、吐出安定性に欠けてしまう。

ここで、ノズルのノズル径とメニスカス部で吐出する液滴が飛翔を開始する吐出開始電圧、該初期吐出液滴のレイリー限界での電圧値及び吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比との関係を示すグラフを図 9 に示す。

図 9 に示すグラフから、ノズル径が $\phi 0.2$ [μm] から $\phi 4$ [μm] の範囲において、吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比が 0.6 を超え、液滴の退園効率が良い結果となっており、該範囲において安定した吐出が行えることが分かった。

例えば、図 10 に示すノズル径とメニスカス部の強電界（ 1×10^6 [V/m] 以上）の領域の関係で表されるグラフでは、ノズル径が $\phi 0.2$ [μm] 以下になると電界集中の領域が極端に狭くなることが示されている。このことから、吐出する液滴は、加速するためのエネルギーを十分に受けることができず飛翔安定性が低下することを示す。よって、ノズル径は $\phi 0.2$ [μm] より大きく設定することが好ましい。

【0023】

図11は、液体吐出装置100の底面を紙面手前側にして示すとともに液体吐出装置2を一部破断して示した斜視図である。図11に示すように、液体吐出装置100は、複数の液室101を内部に形成した液室構造102と、液室構造102の底部に取り付けられた液滴吐出ヘッドであって帯電可能な溶液を液滴としてその先端部から吐出する超微小径のノズル103をそれぞれの液室101に対応して具備した液滴吐出ヘッド104と、を備える。

【0024】

液室構造102について説明する。図12は、液室構造102を底面方向から見て一つの液室101を主に示した断面図である。図11及び図12に示すように、液室構造102は液室側壁105を具備し、液室側壁105に対して一体的に突条に形成された複数の第一液室隔壁106、106、…が互いに平行となるように液室側壁105に設けられている。それぞれの第一液室隔壁106には第二液室隔壁107が積み重なっており、第二液室隔壁107は接着剤層108を介して第一液室隔壁106に接着固定されている。これにより、液室側壁105上においては、第一液室隔壁106及び第二液室隔壁108の一对からなる突条が複数互いに平行に配列していることによって複数の溝が形成されている。そして、カバープレート110が、液室側壁105に対向するように且つ前記複数の溝を被覆するようにして、第二液室側壁107、107、…上に接着剤層109を介して接着固定されている。これにより、一对の第一液室隔壁106と、一对の第二液室隔壁107と、液室側壁105と、カバープレート110とによって区画された液室101が複数形成される。この液室構造102の底面においては、各液室101の底が開口しており、液室構造102の底面に後述する液滴吐出ヘッド104を接着固定することで各液室101を塞ぐ。液滴吐出ヘッド104には、各液室101に対応してノズル103が形成されている。

【0025】

各液室101は、液室側壁105の上端面111に近いところで浅くなっており、上端面111付近に浅溝118が形成されている。カバープレート110の上部には、液体導入口119、それに接続したマニホールド120が形成されている。そして、各液室101がカバープレート110で覆われることにより、各

液室 101 の上端部がマニホールド 120 及び液体導入口 119 を介して溶液を貯蔵した液体供給源に接続される。この液体吐出装置 100 は各液室 101 への溶液の供給圧力を付与する図示しない供給ポンプ（溶液供給手段）を具備しており、この供給ポンプによって付与された圧力により液体供給源から各液室 101 に溶液が供給される。この供給ポンプは、後述するノズル 103 の先端部から溶液がこぼれ出さない範囲の供給圧力を維持して溶液の供給を行う。

【0026】

液室隔壁 106, 107 の壁面には電極 121 が設けられており、電極 121 上に絶縁層 125 が設けられている。第一液室側壁 106 の設けられた液室側壁 105 の面と反対となる面に取り付けられた駆動基板 122 には、各液室 101 に対応した導電パターン 123 が形成され、その導電パターン 123 と電極 121 とはワイヤボンディング法によって導線 124 で接続されている。

【0027】

液室隔壁 106, 107 は圧電セラミックプレートで、強誘電性を有するチタン酸ジルコン酸鉛系（PZT）の圧電セラミック材料で形成されており、積層方向でかつ互いに相反する方向に分極されている。液室隔壁 106, 107 は、電極 121 に電圧が印加されることで変形し、液室 101 内の溶液に圧力が付与されるが、液滴隔壁 106, 107 単独での圧力では、後述するノズル 103 の先端部から液滴が吐出せずに、ノズル 103 の先端部から外部に突出した凸状メニスカスが形成されるだけである。つまり、これら液室隔壁 106, 106, …及び液室隔壁 107, 107, …は、それぞれのノズル内流路 145 の溶液が先端部から凸状に盛り上がった状態を形成する凸状メニスカス形成手段を構成していることになる。

【0028】

次に、液滴吐出ヘッド 104 について説明する。図 13 は、液滴吐出ヘッド 104 の底面図であり、図 14 は、液滴吐出ヘッド 104 を切断線 A-A' で破断して示した断面図である。液滴吐出ヘッド 104 は、ベースとなる電気絶縁性の基板 141 と、基板 141 の表面 141a に形成された複数の吐出電極 142, 142, …と、複数の吐出電極 142, 142, …を介して基板 141 の表面 1

41a 一面に積層されたノズル層 143 と、を備える。

【0029】

基板 141 の裏面 142b は、上記の液室構造 102 の底面に接着剤等を介して固着している。また、基板 141 には複数の貫通孔 141c, 141c, …が形成されており、これら貫通孔 141c, 141c, …はそれぞれ液室 101 に対応するように配列されており、それぞれの液室 101 に連通している。つまり、貫通孔 141c は、液室 101 の下部を構成している。

【0030】

吐出電極 142, 142, …は、それぞれの貫通孔 141c に対応するように形成されている。各吐出電極 142 は対応する貫通孔 141c を塞ぐようにして基板 141 の表面 141a に形成されており、底面視した場合に各吐出電極 142 が対応する貫通孔 141c に重なっている。つまり、各吐出電極 142 は、対応する液室 101 に面しており、対応する液室 101 の底面を構成している。吐出電極 142 には、貫通孔 141c に重なった部分において貫通穴 142a が形成されており、この貫通穴 142a は対応した液室 101 に連通している。また、それぞれの吐出電極 142 には一体的に形成された配線 144 が接続されており、それぞれの配線 144 は後述するバイアス電源 30 に接続されている。図面においては、底面視した場合に吐出電極 142 がリング状を呈しており、配線 144 が方状を呈しているが、本発明はこのような形状に限定されるわけではない。

【0031】

ノズル層 143 には複数のノズル 103, 103, …が一体的に形成されており、複数のノズル 103, 103, …が一行になつて並んでいる。各ノズル 103 は、基板 141 に対して略直角に立設するように（垂下するように）形成されている。これらノズル 103, 103, …はそれぞれ液室 101 に対応するように配列されており、底面視した場合に各ノズル 103 が対応する貫通孔 141c に重なっている。各ノズル 103 にはその先端部からその中心線に沿って貫通するノズル内流路 145 が形成されており、ノズル内流路 145 の末端となるノズル孔 103a が各ノズル 103 の先端部に形成されている。ノズル内流路 145

は、吐出電極 142 の貫通穴 142a を通じて対応する液室 101 に連通しており、吐出電極 142 がノズル内流路 145 に面している。各液室 101 に供給された溶液は、貫通孔 141c 及びノズル内流路 145 内にも供給され、各液室 101 及び各ノズル内流路 145 内において吐出電極 142 に直接接する。なお、図面においては、複数のノズル 103, 103, ... が一列になって並んでいるが、二列以上になって並んでいても良いし、マトリクス状に並んでいても良い。

【0032】

これらノズル 103, 103, ... を含めてノズル層 143 は電気絶縁性を有しており、ノズル内流路 145 の内面も電気絶縁性を有している。また、これらノズル 103, 103, ... を含めてノズル層 143 が撥水性を有していても良いし（例えば、ノズル層 143 がフッ素を含有した樹脂で形成されている。）、ノズル 103, 103, ... の表層に撥水性を有する撥水膜が形成されていても良い（例えば、ノズル 103, 103, ... の表面に金属膜が形成され、更にその金属膜上にその金属と撥水性樹脂との共析メッキによる撥水層が形成されている。）。ここで撥水性とは、ノズル 103 で吐出する溶液に対してはじく性質である。

【0033】

それぞれのノズル 103 についてさらに詳説する。ノズル 103 は、前述の通り、超微小径で形成されている。ノズル 103 の形状は、先端部に向かうにつれて径が細くなるように先端部で尖鋭に形成されており、限りなく円錐形に近い円錐台形に形成されている。具体的な各部の寸法の一例を挙げると、ノズル内流路 145 の内部直径は 1 [μm]、ノズル 103 の先端部における外部直径は 2 [μm]、ノズル 103 の根元の直径は 5 [μm]、ノズル 103 の高さは 100 [μm] に設定されている。

なお、ノズル 103 の各寸法は、上記一例に限定されるものではない。特にノズル内径については、後述する電界集中の効果により液滴の吐出を可能とする吐出電圧が 1000 [V] 未満を実現する範囲であって、例えば、ノズル直径 70 [μm] 以下であり、より望ましくは、直径 20 [μm] 以下であって、現行のノズル形成技術により溶液を通す貫通穴を形成することが実現可能な範囲である直径をその下限値とする。また、これらノズル 103, 103, ... の形状は互い

に同じであることが望ましいが、異なる形状であっても良い。

【0034】

次に、液滴吐出ヘッド104を駆動するための回路構成について説明する。この液体吐出装置100は、上記吐出電極142, 142, …に個別に吐出電圧を印加する吐出電圧印加手段25（便宜上図13に図示）と、上記ノズル103, 103, …に対向する対向面23aと共にその対向面23aで液滴の着弾を受ける基材200を支持する対向電極23（図14に図示）と、を備える。

【0035】

吐出電圧印加手段25は、吐出電極142に直流のバイアス電圧を印加するバイアス電源30と、バイアス電圧に重畳して吐出に要する電位とするパルス電圧を吐出電極142に印加する吐出電源29と、をそれぞれの吐出電極142に対応して備えている。バイアス電源30及び吐出電源29は全ての吐出電極142, 142, …に共通であっても良いが、この場合には吐出電源29はこれら吐出電極142, 142, …個別にパルス電圧を印加する。

【0036】

バイアス電源30によるバイアス電圧は、溶液の吐出が行われない範囲で常時電圧印加を行うことにより、吐出時に印加すべき電圧の幅を予め低減し、これによる吐出時の反応性の向上を図っている。

【0037】

吐出電圧電源29は、溶液の吐出を行う時にのみパルス電圧をバイアス電圧に重畳させて吐出電極142, 142, …個別に印加する。このときの重畳電圧Vは次式の条件を満たすようにパルス電圧の値が設定されている。

【数3】

$$V > \sqrt{\frac{2\gamma kr}{\epsilon_0}} \quad (25)$$

但し、 γ ：溶液の表面張力、 ϵ_0 ：真空の誘電率、 r ：ノズル半径、 k ：ノズル形状に依存する比例定数（ $1.5 < k < 8.5$ ）とする。

一例を挙げると、バイアス電圧はDC300[V]で印加され、パルス電圧は

100 [V] で印される。従って、吐出の際の重畳電圧は400 [V] となる。

【0038】

対向電極23は、ノズル103, 103, …に垂直な対向面23aを備えており、かかる対向面23aに沿うように基材200の支持を行う。ノズル103, 103, …の先端部から対向電極23の対向面23aまでの距離は、一例としては100 [μm] に設定される。

また、この対向電極23は接地されているため、常時、接地電位を維持している。従って、パルス電圧の印加時にはそれぞれのノズル103の先端部と対向面23aとの間に生じる電界による静電力により吐出された液滴を対向電極23側に誘導する。

なお、液体吐出装置100は、ノズル103, 103, …の超微小化によるそれぞれのノズル103, 103, …先端部での電界集中により電界強度を高めることで液滴の吐出を行うことから、対向電極23による誘導がなくとも液滴の吐出を行うことは可能ではあるが、ノズル103, 103, …と対向電極23との間での静電力による誘導が行われた方が望ましい。また、帯電した液滴の電荷を対向電極23の接地により逃がすことも可能である。

【0039】

次に、液体吐出装置100の製造方法について説明する。

液体吐出装置100を製造するには、液室構造102と液滴吐出ヘッド104を別々に製造してから、液室構造102の底面に液滴吐出ヘッド104を接着固定すれば良い。

【0040】

液室構造102を製造するには、まず、液室側壁105、第一の液室隔壁106及び第二の液室隔壁107を構成することになるチタン酸ジルコン酸塩系 (PZT) の圧電材料を準備し、ドクターブレード法、スクリーン印刷法等の手法を用いて、所定の厚さのシート状に形成する。

【0041】

それから、一对のシートを接着剤層108となる接着剤を用いて積層することで圧電積層体を形成し、その後、周知の方法により分極処理を行い、これによ

て上側のシートと下側のシートとが厚さ方向でかつ互いに相反する方向に分極されるようにする。

【0042】

そして、一对のシートが積層してなる圧電積層体に図示しない工具（例えばダイヤモンドブレード）によって上記圧電積層体を研削加工し、それによって上記圧電積層体に、液室101を構成することとなる複数の溝部が互いに平行に形成される。

【0043】

その後、溝部を構成する液室隔壁106，107に電極をめっき等の周知の方法により形成する。なお、溝部の底面には電極は形成しない。そして、接着剤層109となる接着剤を第二の液室隔壁107の上部に塗布し、カバープレート110を貼り合わせると、複数の液室101が互いに平行に形成されてなる液室構造102が製造される。そして、液室側壁105に駆動基板122を取り付け、それぞれの電極11に導線124の一端部を接合するとともに、導線124の他端部を配線パターン123に接合する。

【0044】

一方、液滴吐出ヘッド104を製造するには、図15に示すように、まず平板状の基板141を準備し（この時点ではまだ基板141には複数の貫通孔141c，141c，…が形成されていない。）、PVD法、CVD法及びめっき法といった成膜方法によって基板141の表面141a一面に導電性膜142'を成膜し、フォトリソグラフィー法によってこの導電性膜142'にレジスト150，150，…を形成する。ここで、平面視した場合のレジスト150の形状は、底面視して吐出電極142と配線144を合わせた形状である。なお、基板141は、ガラス基板であっても良いし、シリコンウェーハであっても良いし、樹脂基板であっても良いが、絶縁性を有している。

【0045】

次いで、レジスト150，150，…をマスクとして導電性膜142'をエッチングすると、導電性膜142'が形状加工されて、複数の吐出電極142，142，…及び複数の配線144，144，…が形成され、その後レジスト150

、150、…を除去する（図16）。このように成膜工程、マスク工程及び形状加工工程を経て複数の吐出電極142、142、…をまとめて形成しているため、液滴吐出ヘッド104の生産効率が良い。

【0046】

次いで、これら吐出電極142、142、…及びこれら配線144、144、…の全てを被覆するようにして、基板141の表面141a一面にレジスト層（感光性樹脂層）143'を成膜する（図17）。このレジスト層143'は、ポジ型であっても良いし、ネガ型であっても良い。レジスト層143'は感光性樹脂からなるが、その組成としてはPMMA、SU8等であるのが好ましい。

【0047】

次いで、電子ビーム、フェムト秒レーザ等でレジスト層143'を形成しようとする複数のノズル103、103、…の形状に合わせて感光させる。つまり、レジスト層143'がポジ型の場合には、レジスト層143'において吐出電極142、142、…の貫通穴142aに重なった部分を深層まで感光させるとともに、複数のノズル103、103、…の間の部分を中層まで感光させる。一方、レジスト層143'がネガ型の場合には、レジスト層143'において複数のノズル103、103、…となる部分を感光させる。ここで、電子ビーム、フェムト秒レーザでレジスト層143'を感光させるのではなく、可視光線、紫外線、エキシマレーザ、i線、g線等で感光させても良い。つまり、感光に用いる電磁波（広義の光）は、レジスト層143'を感光させるものであれば良い。

【0048】

次いで、レジスト層143'に現像液を塗布することで、レジスト層143'が露光に応じた形状で除去され、基板141に対して立設した複数のノズル103、103、…が形成される（図18）。なお、レジスト層143'がポジ型の感光性樹脂である場合には、露光されたレジスト層143'の表面側には照射エネルギーが大きく逆に基板141側に向かうにつれて照射エネルギーが小さくなるから、基板141側に向かうにつれて現像液に対する溶解性が小さくなる。従って、レジスト層143'がポジ型の場合のほうが、基板141側に向かうにつれて径が大きくなる略円錐状又は略円錐台状のノズル103、103、…を容易

に形成することができる。また、レジスト層 143' を成膜し、その後レジスト層 143' を露光・現像するだけで複数のノズル 103, 103, … をまとめて形成しているため、液滴吐出ヘッドの生産効率が良い。

【0049】

次いで、フォトリソグラフィ法によって基板 141 の裏面 141b にレジスト膜 151 を形成する (図 19)。ここで、平面視した場合のレジスト膜 151 の形状は、貫通孔 141c, 141c, … となる部分において開口した形状となっている。そして、レジスト膜 151 をマスクとして、基板 141 をエッチングすると、複数の貫通孔 141c, 141c, … が基板 141 に形成され、その後レジスト膜 151 を除去する (図 20)。これにより、液滴吐出ヘッド 104 が製造される。

【0050】

そして、基板 141 に形成された貫通孔 141c, 141c, … を液室構造 102 のそれぞれの液室 101 に対向させて、液室構造 102 の底面に基板 141 の裏面 141b を接着剤等で接合する (図 20)。また、配線 144, 144, … それぞれにバイアス電源 30 と吐出電圧電源 29 を電氣的に接続する。これにより、液体吐出装置 100 が製造される。

【0051】

なお、必要に応じてノズル 103, 103, … の表層を撥水処理しても良い。例えば、撥水性を有する感光性樹脂 (例えば、フッ素含有感光性樹脂) でレジスト層 143' を形成することでノズル 103, 103, … の表層が撥水性を有するようにしても良いし、ノズル 103, 103, … を形成した後にそれぞれのノズル孔 103a をレジストでマスクした状態でノズル 103 の表面に金属膜 (例えば、Ni、Au、Pt 等) を形成し、その金属膜とフッ素含有樹脂との共析メッキにより形成される撥水膜を形成することでノズル 103, 103, … の表層が撥水性を有するようにしても良い (ノズル孔 103a をマスクしたレジストは最後に除去する。)。

【0052】

次に、液滴吐出ヘッド 104 の駆動方法及び液体吐出装置 100 の液滴吐出動

作について説明を行う。図 21 は溶液の吐出動作と溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図 21 (A) は吐出を行わない状態であり、図 21 (B) は吐出状態を示す。

供給ポンプによって液体導入口 119 及びマニホールド 120 を介してそれぞれのノズル 103 のノズル内流路 145 には帯電可能な溶液が供給された状態にあり、かかる状態でそれぞれのバイアス電源 30 によりそれぞれの吐出電極 142 を介してバイアス電圧が溶液に印加されている。かかる状態で、溶液は帯電すると共に、それぞれのノズル 103 の先端部において溶液による凹状に窪んだメニスカスが形成される (図 21 (A))。

【0053】

そして、ノズル 103, 103, …のうち液滴を吐出するノズル 103 については、吐出電圧電源 29 によりパルス電圧が吐出電極 142 を介して溶液に印加されるとともに、このパルス電圧に同期して電極 121 にもパルス電圧が印加される。電極 121 にパルス電圧が印加されると、液室隔壁 106, 107 が膨張して液室 101 の容積が減少することとなり、これにより液室 101 内の溶液の圧力が増加する。従って、ノズル 103 の先端部において外部に突出した凸状のメニスカスが形成される。更に、電極 121 にパルス電圧が印加されるのとほぼ同時に吐出電極 142 にもパルス電圧が印加されるから、外部に突出した凸状メニスカスの頂点により電界が集中し、ついには溶液の表面張力に抗して微小液滴が対向電極側に吐出される (図 21 (B))。

【0054】

そして、吐出電極 142 に印加されるパルス電圧が終了すると共に、電極 121 に印加されるパルス電圧が終了すると、液室 101 の容積が増大することでノズル 103 の先端部において溶液が凹状に窪んだメニスカスが形成されるとともに、液体導入口 119 及びマニホールド 120 を介して液体を吐出したノズル 103 のノズル内流路 145 に溶液が供給される。

【0055】

なお、上記説明では電極 121 にパルス電圧が印加されることで液室隔壁 106, 107 が膨張して液室 101 の容積が増大したが、逆に電極 121 にパルス

電圧が印加されることで液室隔壁106, 107が収縮して液室101の容積が減少するように動作しても良い。但しこの場合には、吐出の際において吐出電極142にパルス電圧が印加されている時には電極121にパルス電圧が印加されておらず、吐出しない際において吐出電極142にバイアス電圧が印加されている時には電極121にパルス電圧が印加される。

【0056】

また、圧電素子である液室隔壁106, 107によって液室101内の溶液に圧力を吐出の時に付与することで凸状のメニスカスを形成したが、ヒータ等によって液室101内の溶液を吐出の時に膜沸騰させて溶液に圧力を付与することで凸状のメニスカスを形成しても良い。

【0057】

以上の液体吐出装置100の使用方法としては、例えば基材200に平行な面内において上記液体吐出装置100（主に、液室構造102と液滴吐出ヘッド104）を基材200に対して相対的に移動させつつ、それぞれのノズル103の先端部から選択的に液滴を吐出することによって、基材200の表面に着弾した液滴がドットとなるパターンが基材200の表面に形成される。また、複数のノズル103, 103, …が一行になつて配列されているから、ノズル103, 103, …の列に対して直角となる方向に基材200を移動させつつ、それぞれのノズル103の先端部から選択的に液滴を吐出することによって、基材200の表面に着弾した液滴がドットとなるパターンを基材200の表面に形成することができる。液体吐出装置100には複数のノズル103, 103, …が設けられているため、パターンを速く形成することができる。また、液体吐出装置100は、回路の配線パターンの形成、金属超微粒子の配線パターンの形成、カーボンナノチューブおよびその前駆体ならびに触媒配列の形成、強誘電性セラミックスおよびその前駆体のパターンニングの形成、高分子およびその前駆体の高配向化、ゾーンリファイニング、マイクロビーズマニピュレーション、アクティブタッピング、立体構造の形成の何れかに用いることができる。

【0058】

以上のように、上記液体吐出装置100は、従来にない微小径のノズル103

により液滴の吐出を行うので、ノズル内流路 145 内で帯電した状態の溶液により電界が集中され、電界強度が高められる。このため、従来のように電界の集中化が行われない構造のノズル（例えば内径 100 [μm]）では吐出に要する電圧が高くなり過ぎて事実上吐出不可能とされていた微小径でのノズルによる溶液の吐出を従来よりも低電圧で行うことを可能としている。

そして、微小径であるがために、ノズルコンダクタンスの低さによりその単位時間あたりの吐出流量を低減する制御を容易に行うことができると共に、パルス幅を狭めることなく十分に小さな液滴径（上記各条件によれば 0.8 [μm]）による溶液の吐出を実現している。

さらに、吐出される液滴は帯電されているので、微小の液滴であっても蒸気圧が低減され、蒸発を抑制することから液滴の質量の損失を低減し、飛翔の安定化を図り、液滴の着弾精度の低下を防止する。

さらに、ノズル 103, 103, …の表層が撥水性を有しているため、溶液を吐出するべきでない際にノズル 103, 103, …内の溶液が垂れて流れたりしない。また、ノズル 103, 103, …の表層が撥水性を有しているため、ノズル孔 103a 周辺に溶液が付着することで液滴の吐出に悪影響を及ぼすこともない。また、ノズル 103, 103, …の表層が撥水性を有することで、吐出の際に形成されるメニスカスが綺麗な凸状で形成され、液滴が安定して吐出される。

さらに、それぞれのノズル 103 内の溶液にパルス電圧を印加するのとはほぼ同時にノズル 103 内の溶液に圧力を加えているから、吐出電極 142 に印加されるパルス電圧が低電圧であっても、液滴が吐出される。つまり、吐出に要する電圧が高くなり過ぎて事実上吐出不可能とされていた微小径でのノズルによる溶液の吐出を従来よりも低電圧で行うことが可能となっている。

【0059】

なお、ノズル 103 にエレクトロウェッティング効果を得るために、ノズル 103 の外周に電極（例えば上述した撥水膜下に形成された金属膜である。）を設けるか、また或いは、ノズル内流路 145 の内面に電極を設け、その上から絶縁膜で被覆しても良い。そして、この電極に電圧を印加することで、吐出電極 142 により電圧が印加されている溶液に対して、エレクトロウェッティング効果に

よりノズル内流路 145 の内面のぬれ性を高めることができ、ノズル内流路 145 への溶液の供給を円滑に行うことができ、良好に吐出を行うと共に、吐出の応答性の向上を図ることが可能となる。

【0060】

また、吐出電圧印加手段 25 ではそれぞれの吐出電極 142 にバイアス電圧を常時印加すると共にパルス電圧をトリガーとして液滴の吐出を行っているが、それぞれの吐出電極 142 につき吐出に要する振幅で常時交流又は連続する矩形波を印加すると共にその周波数の高低を切り替えることで吐出を行う構成としても良い。液滴の吐出を行うためには溶液の帯電が必須であり、溶液の帯電する速度を上回る周波数で吐出電圧を印加していても吐出が行われず、溶液の帯電が十分に図れる周波数に替えると吐出が行われる。従って、吐出を行わないときには吐出可能な周波数より大きな周波数で吐出電圧を印加し、吐出を行う場合にのみ吐出可能な周波数帯域まで周波数を低減させる制御を行うことで、溶液の吐出を制御することが可能となる。かかる場合、溶液に印加される電位自体に変化はないので、より時間応答性を向上させると共に、これにより液滴の着弾精度を向上させることが可能となる。

【0061】

[液体吐出装置の理論説明]

本発明では、静電吸引型インクジェット方式において果たすノズルの役割を再考察し、

【数 4】

$$r < \frac{\lambda_c}{4} \quad (5)$$

即ち、

【数 5】

$$r < \frac{\pi \gamma h^2}{2 \epsilon_0 V^2} \quad (6)$$

或いは

【数 6】

$$V < \sqrt{\frac{\pi \gamma}{2 \epsilon_0 r}} \cdot h \quad (7)$$

という従来吐出不可能として試みられていなかった領域において、マクスウェル力などを利用することで、微細液滴を形成することができる。

このような駆動電圧低下および微少量吐出実現の方策のための吐出条件等を近似的に表す式を導出したので以下に述べる。

以下の説明は、上記各本発明の実施形態で説明した液体吐出装置に適用可能である。

いま、半径 r のノズルに導電性溶液を注入し、基材としての無限平板導体から h の高さに垂直に位置させたと仮定する。この様子を図 22 に示す。このとき、ノズル先端部に誘起される電荷は、ノズル先端の半球部に集中すると仮定し、以下の式で近似的に表される。

【数 7】

$$Q = 4\pi \epsilon_0 \alpha r V \quad (8)$$

ここで、 Q ：ノズル先端部に誘起される電荷、 ϵ_0 ：真空の誘電率、 ϵ ：基板の誘電率、 h ：ノズル－基板間距離、 r ：ノズル内径の半径、 V ：ノズルに印加する電圧である。 α ：ノズル形状などに依存する比例定数で、1～1.5程度の値を取り、特に $r \ll h$ のときほぼ1程度となる。

【0062】

また、基材としての基板が導体基板の場合、基板内の対称位置に反対の符号を持つ鏡像電荷 Q' が誘導されると考えられる。基板が絶縁体の場合は、誘電率によって定まる対称位置に同様に反対符号の映像電荷 Q' が誘導される。

ところで、ノズル先端部に於ける電界強度 $E_{loc.}$ は、先端部の曲率半径を R と仮定すると、

【数8】

$$E_{loc.} = \frac{V}{kR} \quad (9)$$

で与えられる。ここで k : 比例定数で、ノズル形状などにより異なるが、1.5~8.5程度の値をとり、多くの場合5程度と考えられる。(P. J. Birdseye and D.A. Smith, Surface Science, 23 (1970) 198-210)。

今簡単のため、 $r = R$ とする。これは、ノズル先端部に表面張力で導電性溶液がノズル径 r と同じ半径を持つ半球形状に盛り上がっている状態に相当する。

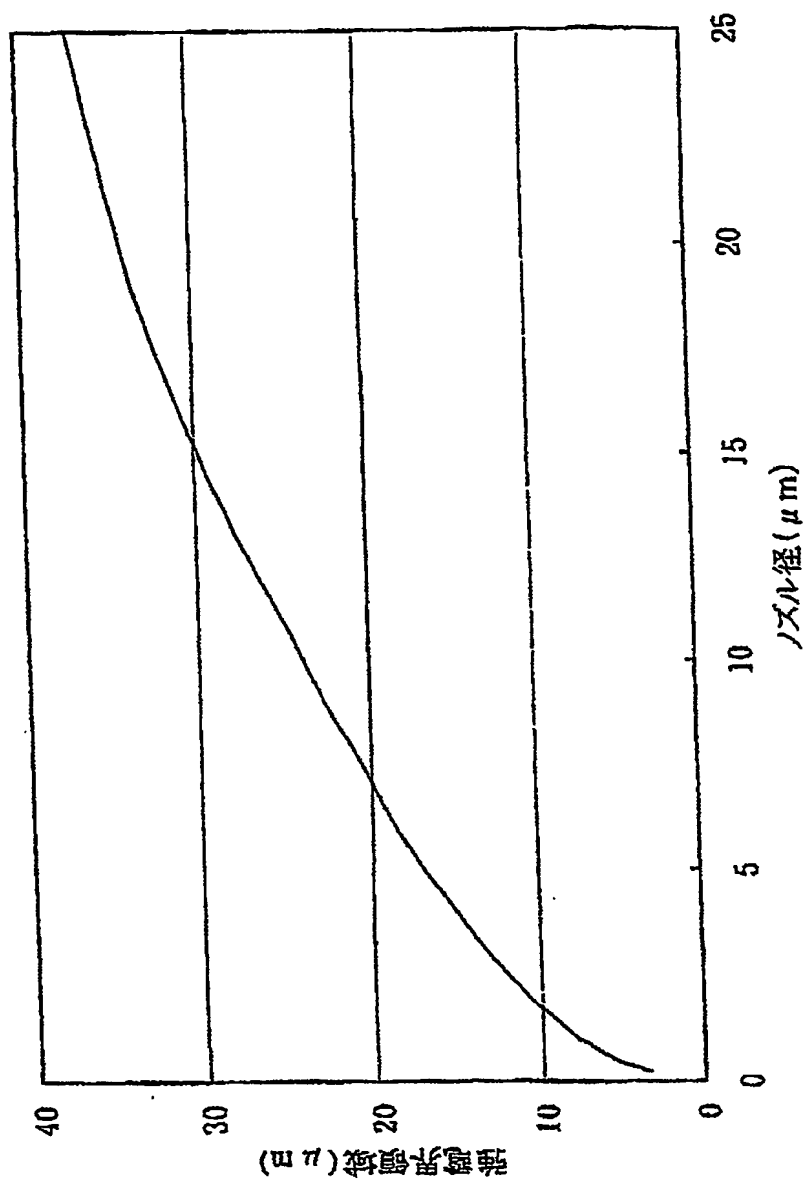
ノズル先端の液体に働く圧力のバランスを考える。まず、静電的な圧力は、ノズル先端部の液面積を S とすると、

【数9】

$$P_e = \frac{Q}{S} E_{loc.} \approx \frac{Q}{4\pi r^2 / 2} E_{loc.} \quad (10)$$

(8)、(9)、(10) 式より $\alpha = 1$ とおいて、

【数10】



と表される。

【0063】

一方、ノズル先端部に於ける液体の表面張力を P_s とすると、

【数 1 1】

$$P_s = \frac{2\gamma}{r} \quad (1.2)$$

ここで、 γ : 表面張力、である。

静電的な力により流体の吐出が起こる条件は、静電的な力が表面張力を上回る条件なので、

【数 1 2】

$$P_e > P_s \quad (1.3)$$

となる。十分に小さいノズル径 r をもちいることで、静電的な圧力が、表面張力を上回らせる事が可能である。

この関係式より、 V と r の関係を求めると、

【数 1 3】

$$V > \sqrt{\frac{2\gamma k}{\epsilon_0} r} \quad (1.4)$$

が吐出の最低電圧を与える。すなわち、式 (7) および式 (1.4) より、

【数 1 4】

$$h \sqrt{\frac{\gamma \pi}{2\epsilon_0 r}} > V > \sqrt{\frac{2\gamma k}{\epsilon_0} r} \quad (1.5)$$

が、本発明の動作電圧となる。

【0064】

ある半径 r のノズルに対し、吐出限界電圧 V_c の依存性を前述した図 9 に示す

。この図より、微細ノズルによる電界の集中効果を考慮すると、吐出開始電圧は、ノズル径の減少に伴い低下する事が明らかになった。

従来の電界に対する考え方、すなわちノズルに印加する電圧と対向電極間の距離によって定義される電界のみを考慮した場合では、微小ノズルになるに従い、吐出に必要な電圧は増加する。一方、局所電界強度に注目すれば、微細ノズル化により吐出電圧の低下が可能となる。

【0065】

静電吸引による吐出は、ノズル端部における流体の帯電が基本である。帯電の速度は誘電緩和によって決まる時定数程度と考えられる。

【数15】

$$\tau = \frac{\varepsilon}{\sigma} \quad (20)$$

ここで、 ε ：流体の比誘電率、 σ ：流体の導電率である。流体の比誘電率を10、導電率を 10^{-6} S/m を仮定すると、 $\tau = 1.854 \times 10^{-5}$ secとなる。あるいは、臨界周波数を f_c とすると、

【数16】

$$f_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (21)$$

となる。この f_c よりも早い周波数の電界の変化に対しては、応答できず吐出は不可能になると考えられる。上記の例について見積もると、周波数としては10 kHz程度となる。このとき、ノズル半径 $2\mu\text{m}$ 、電圧500V弱の場合、 G は $10^{-13}\text{m}^3/\text{s}$ と見積もることができるが、上記の例の液体の場合、10kHzでの吐出が可能なので、1周期での最小吐出量は10f1（フェムトリットル、1f1： 10^{-15} l）程度を達成できる。

【0066】

なお、各上記本実施の形態においては、図22に示したようにノズル先端部に於ける電界の集中効果と、対向基板に誘起される鏡像力の作用を特徴とする。こ

のため、先行技術のように基板または基板支持体を導電性にしたり、これら基板または基板支持体に電圧を印加する必要はない。すなわち、基板として絶縁性のガラス基板、ポリイミドなどのプラスチック基板、セラミックス基板、半導体基板などを用いることが可能である。

また、上記各実施形態において電極への印加電圧はプラス、マイナスのどちらでも良い。

さらに、ノズルと基材との距離は、 $500[\mu\text{m}]$ 以下に保つことにより、溶液の吐出を容易にすることができる。また、図示しないが、ノズル位置検出によるフィードバック制御を行い、ノズルを基材に対し一定に保つようにする。

また、基材を、導電性または絶縁性の基材ホルダーに裁置して保持するようにしても良い。

【0067】

図23は、本発明の他の基本例の一例としての液体吐出装置の側面断面図を示したものである。ノズル1の側面部には電極15が設けられており、ノズル内溶液3との間に制御された電圧が印加される。この電極15の目的は、Electrowetting効果を制御するための電極である。十分な電場がノズルを構成する絶縁体にかかる場合この電極がなくともElectrowetting効果は起こると期待される。しかし、本基本例では、より積極的にこの電極を用いて制御することで、吐出制御の役割も果たすようにしたものである。ノズル1を絶縁体で構成し、その厚さが $1\mu\text{m}$ 、ノズル内径が $2\mu\text{m}$ 、印加電圧が300Vの場合、約30気圧のElectrowetting効果になる。この圧力は、吐出のためには、不十分であるが溶液のノズル先端部への供給の点からは意味があり、この制御電極により吐出の制御が可能と考えられる。

【0068】

前述した図9は、本発明における吐出開始電圧のノズル径依存性を示したものである。液体吐出装置として、図11に示した液体吐出装置100に示すものを用いた。微細ノズルになるに従い吐出開始電圧が低下し、従来より低電圧で吐出可能なことが明らかになった。

上記各実施形態において、溶液吐出の条件は、ノズル基板間距離(L)、印加電

圧の振幅 (V)、印加電圧振動数 (f) のそれぞれの関数になり、それぞれにある一定の条件を満たすことが吐出条件として必要になる。逆にどれか一つの条件を満たさない場合他のパラメーターを変更する必要がある。

【0069】

この様子を図 24 を用いて説明する。

まず吐出のためには、それ以上の電界でないと吐出ししないというある一定の臨界電界 E_c が存在する。この臨界電界は、ノズル径、溶液の表面張力、粘性などによって変わってくる値で、 E_c 以下での吐出は困難である。臨界電界 E_c 以上すなわち吐出可能電界強度において、ノズル基板間距離 (L) と印加電圧の振幅 (V) の間には、おおむね比例の関係が生じ、ノズル間距離を縮めた場合、臨界印加電圧 V を小さくする事が出来る。

逆に、ノズル基板間距離 L を極端に離し、印加電圧 V を大きくした場合、仮に同じ電界強度を保ったとしても、コロナ放電による作用などによって、流体液滴の破裂すなわちバーストが生じてしまう。そのため良好な吐出特性を得るためには、ノズル基板間距離は $100\mu\text{m}$ 程度以下に抑えることが吐出特性並びに、着弾精度の両面から望ましい。

【0070】

【発明の効果】

本発明では、複数のノズル形状を形成し、それぞれのノズル内流路を電極に導いているため、それぞれのノズル内流路に供給された溶液に電極を通じて吐出電圧を印加することができる。電極に吐出電圧が印加されることで、ノズル形状の先端部から液滴が吐出され、基材に着弾した液滴がドットとなるパターンが基材に形成される。このようなノズル形状が基板上に複数形成されているため、パターンを速く形成することができる。

かかる場合、ノズルの先端部に対向する対向電極がなくとも液滴の吐出を行うことが可能である。例えば、対向電極が存在しない状態で、ノズル先端部に対向させて基材を配置した場合、当該基材が導体である場合には、基材の受け面を規準としてノズル先端部の面対称となる位置に逆極性の鏡像電荷が誘導され、基材が絶縁体である場合には、基材の受け面を規準として基材の誘電率により定まる

対称位置に逆極性の映像電荷が誘導される。そして、ノズル先端部に誘起される電荷と鏡像電荷又は映像電荷間での静電力により液滴の飛翔が行われる。

さらに、本発明は、それぞれのノズル形状の先端部においてノズル内流路の溶液が先端部から凸状に盛り上げているため、電極に印加する電圧が低い場合であっても溶液の凸状の部分において電界が集中し、電界強度が非常に高めている。そのため、電極に印加する電圧が低くても、液滴がノズル形状の先端部から吐出する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

ノズル径を $\phi 0.2$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図 1 (a) はノズルと対向電極との距離が 2000 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図 1 (b) は、ノズルと対向電極との距離が 100 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図 2】

ノズル径を $\phi 0.4$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図 2 (a) はノズルと対向電極との距離が 2000 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図 2 (b) は、ノズルと対向電極との距離が 100 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図 3】

ノズル径を $\phi 1$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図 3 (a) はノズルと対向電極との距離が 2000 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図 3 (b) は、ノズルと対向電極との距離が 100 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図 4】

ノズル径を $\phi 8$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図 4 (a) はノズルと対向電極との距離が 2000 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図 4 (b) は、ノズルと対向電極との距離が 100 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図 5】

ノズル径を $\phi 20$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図 5 (a) はノズルと対向電極との距離が 2000 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図 5 (b) は、ノズルと対向電極との距離が 100 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図 6】

ノズル径を $\phi 50$ [μm]とした場合の電界強度分布を示し、図 6 (a) はノズルと対向電極との距離が 2000 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示し、図 6 (b) は、ノズルと対向電極との距離が 100 [μm]に設定されたときの電界強度分布を示す。

【図 7】

図 1 ～図 6 の各条件下での最大電界強度を示す図表を示す。

【図 8】

ノズルのノズル径のメニスカス部の最大電界強度と強電界領域の関係を示す線図である。

【図 9】

ノズルのノズル径とメニスカス部で吐出する液滴が飛翔を開始する吐出開始電圧、該初期吐出液滴のレイリー限界での電圧値及び吐出開始電圧とレイリー限界電圧値の比との関係を示す線図である。

【図 10】

ノズル径とメニスカス部の強電界の領域の関係で表されるグラフである。

【図 11】

本発明の実施形態としての液体吐出装置を一部破断して示した斜視図である。

【図 12】

図 11 に示された液体吐出装置に備わる液室構造を底面方向から見て示した断面図である。

【図 13】

図 11 に示された液体吐出装置に備わる液滴吐出ヘッドを示した底面図である。

。

【図 14】

図 13 に示された切断線 A-A' で破断して示した断面図である。

【図 15】

上記液滴吐出ヘッドの製造方法の工程を示した図面である。

【図 16】

上記液滴吐出ヘッドの製造方法の工程を示した図面であり、図 16 (A) は平面図であり、図 16 (B) は切断線 B-B' で破断して示した断面図である。

【図 17】

上記液滴吐出ヘッドの製造方法の工程を示した図面である。

【図 18】

上記液滴吐出ヘッドの製造方法の工程を示した図面である。

【図 19】

上記液滴吐出ヘッドの製造方法の工程を示した図面である。

【図 20】

上記液滴吐出ヘッドの製造方法の工程を示した図面である。

【図 21】

溶液の吐出動作と溶液に印加される電圧との関係を示す説明図であって、図 21 (A) は吐出を行わない状態であり、図 21 (B) は吐出状態を示す。

【図 22】

本発明の実施の形態として、ノズルの電界強度の計算を説明するために示したものである。

【図 23】

本発明の一例としての液体吐出機構の側面断面図を示したものである。

【図 24】

本発明の実施の形態の液体吐出装置における距離-電圧の関係による吐出条件を説明した図である。

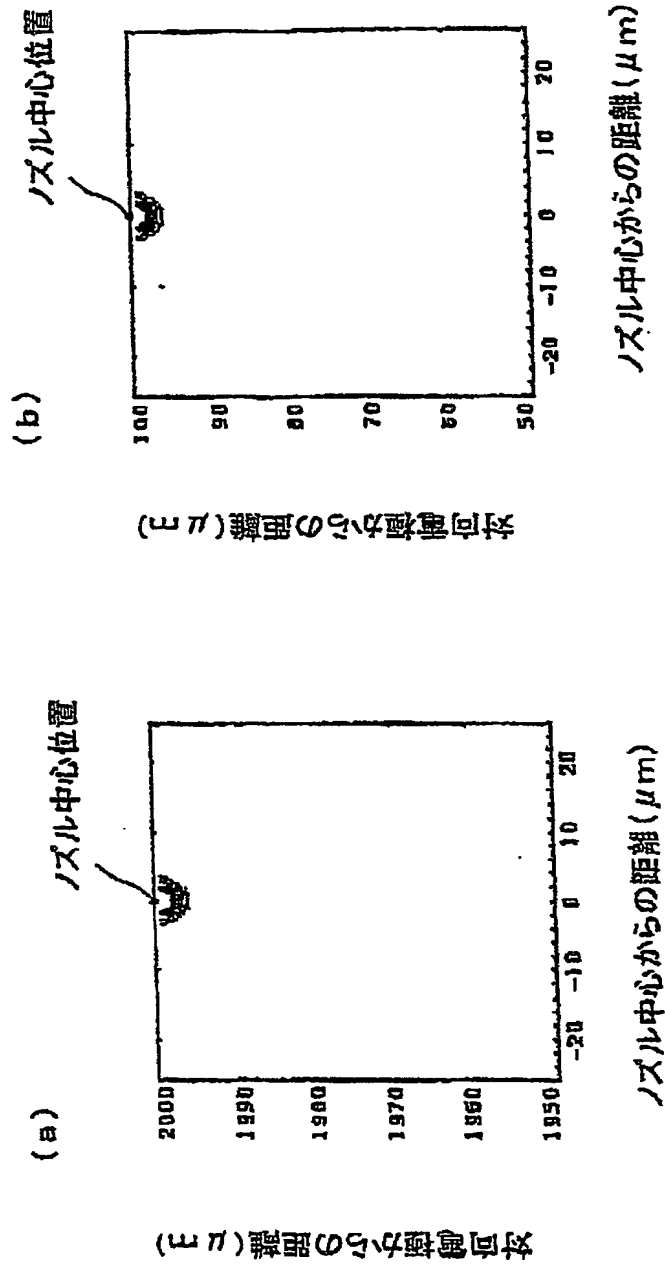
【符号の説明】

- 100 液体吐出装置
- 102 液室構造
- 104 液滴吐出ヘッド

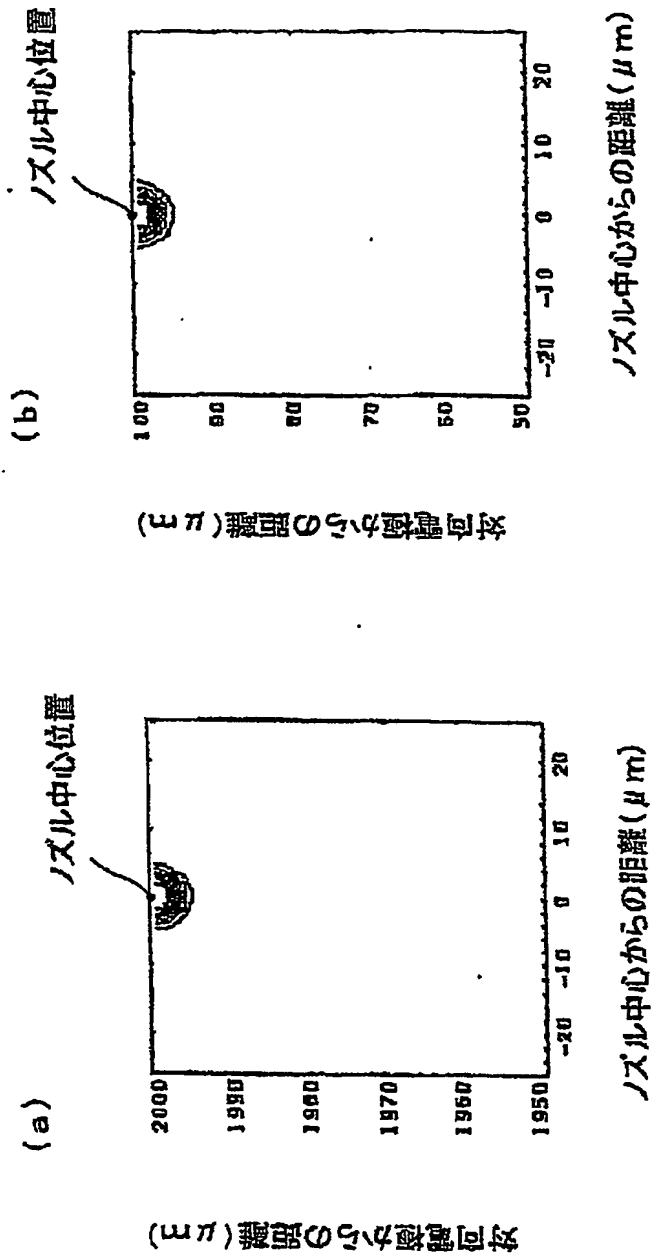
- 1 0 3 ノズル
- 1 0 6 第一の液室隔壁（圧電素子、凸状メニスカス形成手段）
- 1 0 7 第二の液室隔壁（圧電素子、凸状メニスカス形成手段）
- 1 4 1 基板
- 1 4 2 吐出電極
- 1 4 3 ノズル層
- 1 4 3' レジスト層（感光性樹脂層）
- 1 4 5 ノズル内流路
- 2 5 吐出電圧印加手段

【書類名】 図面

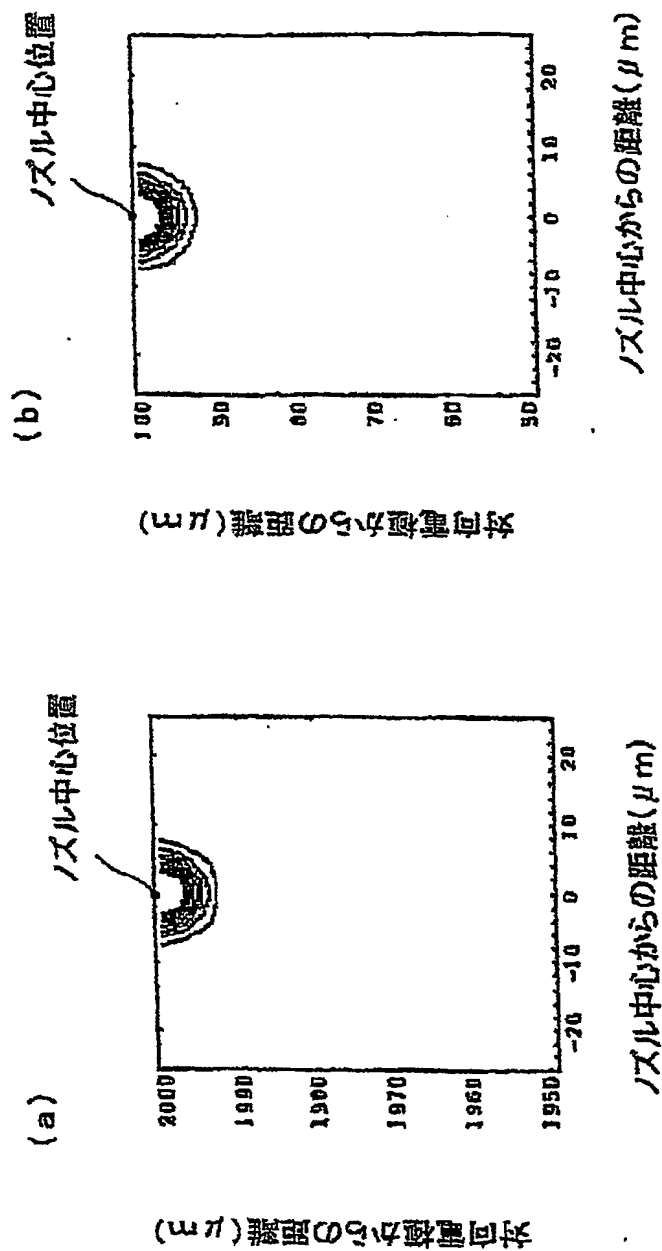
【図 1】



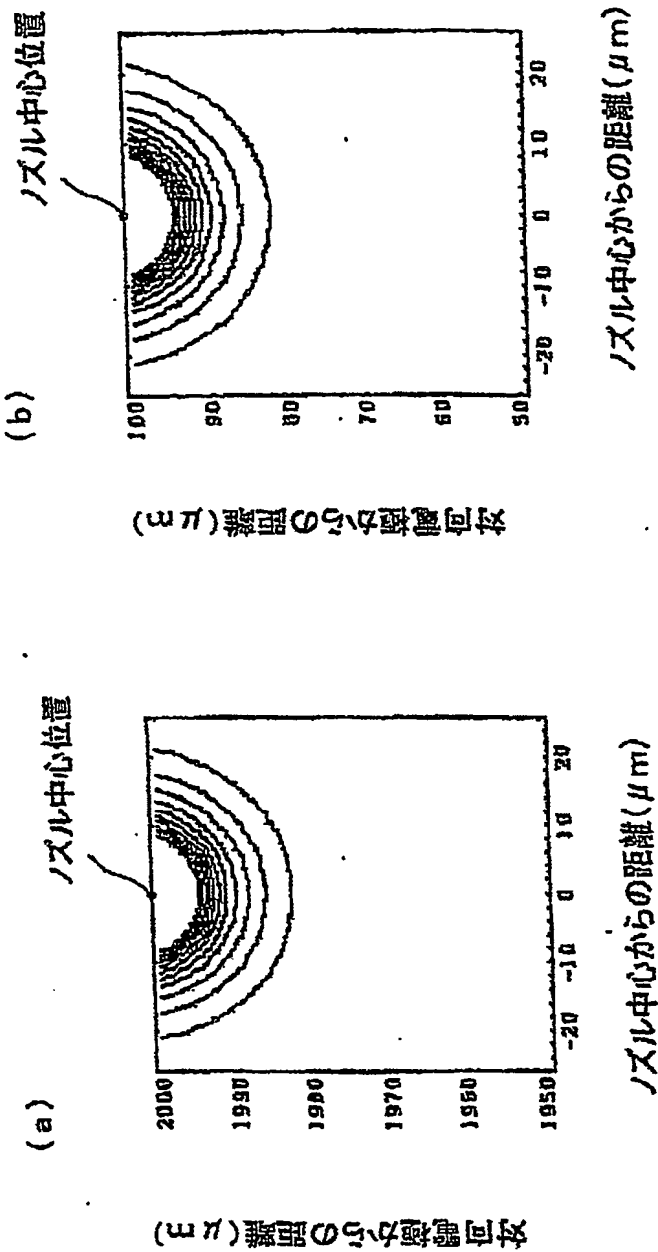
【図 2】



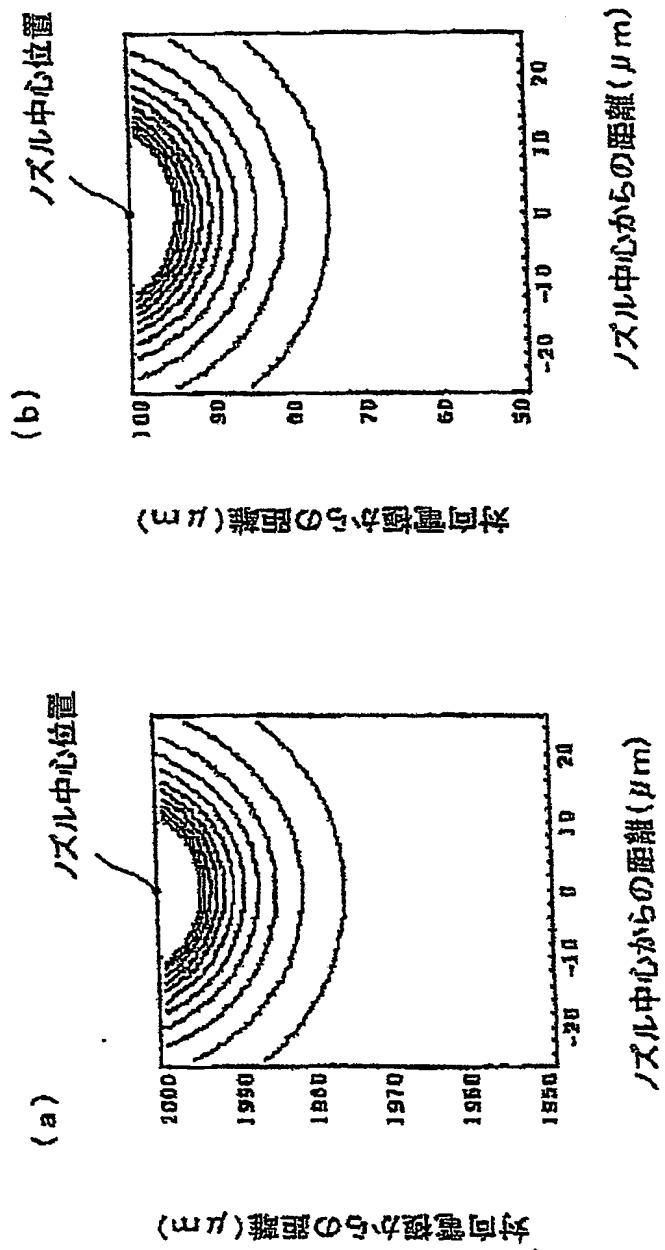
【図 3】



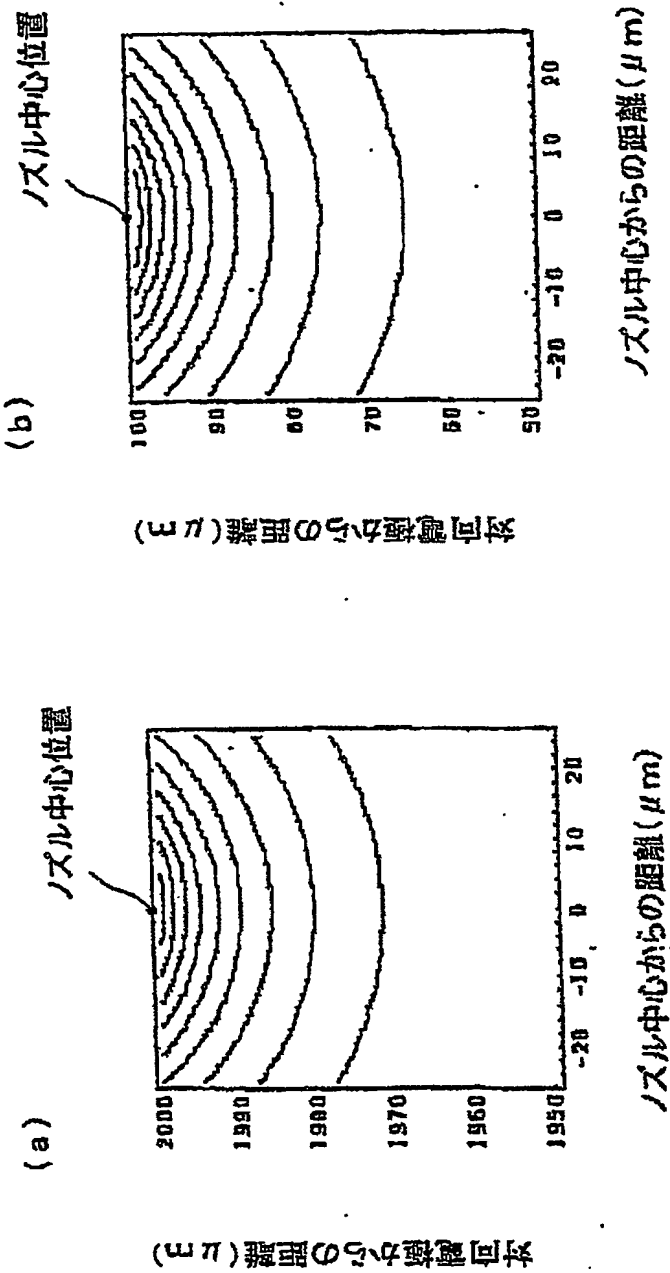
【図 4】



【図5】



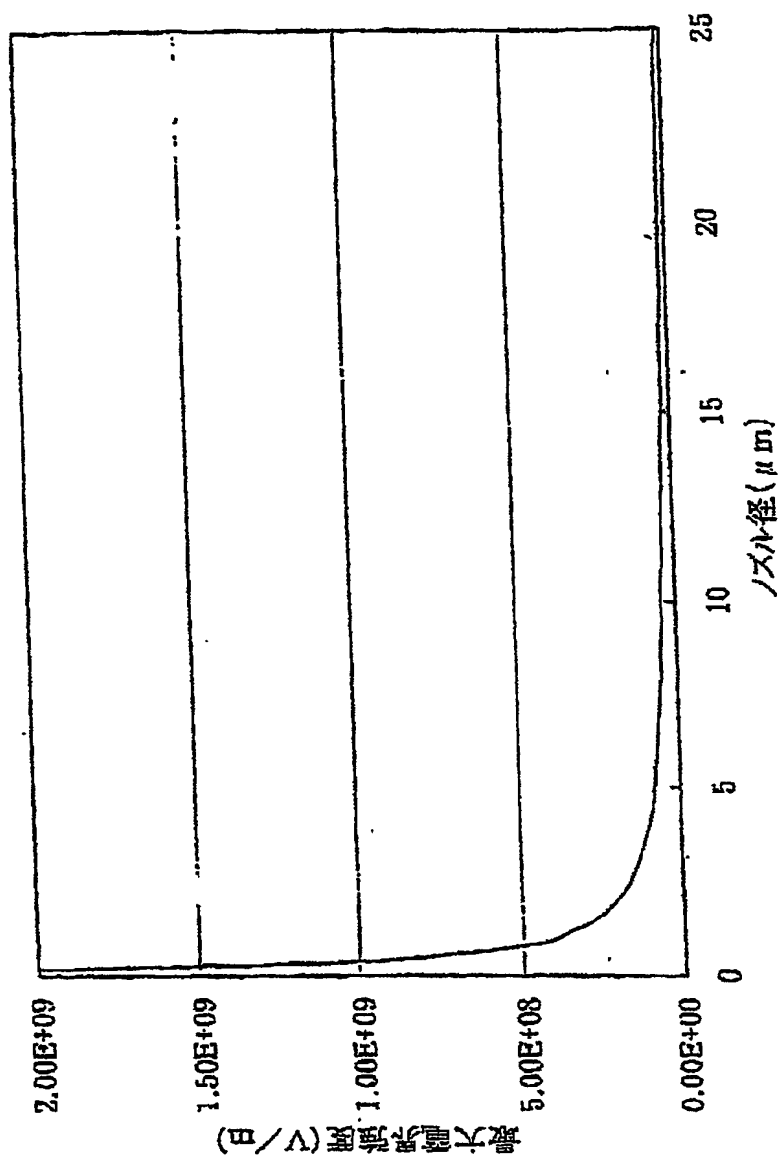
【図 6】



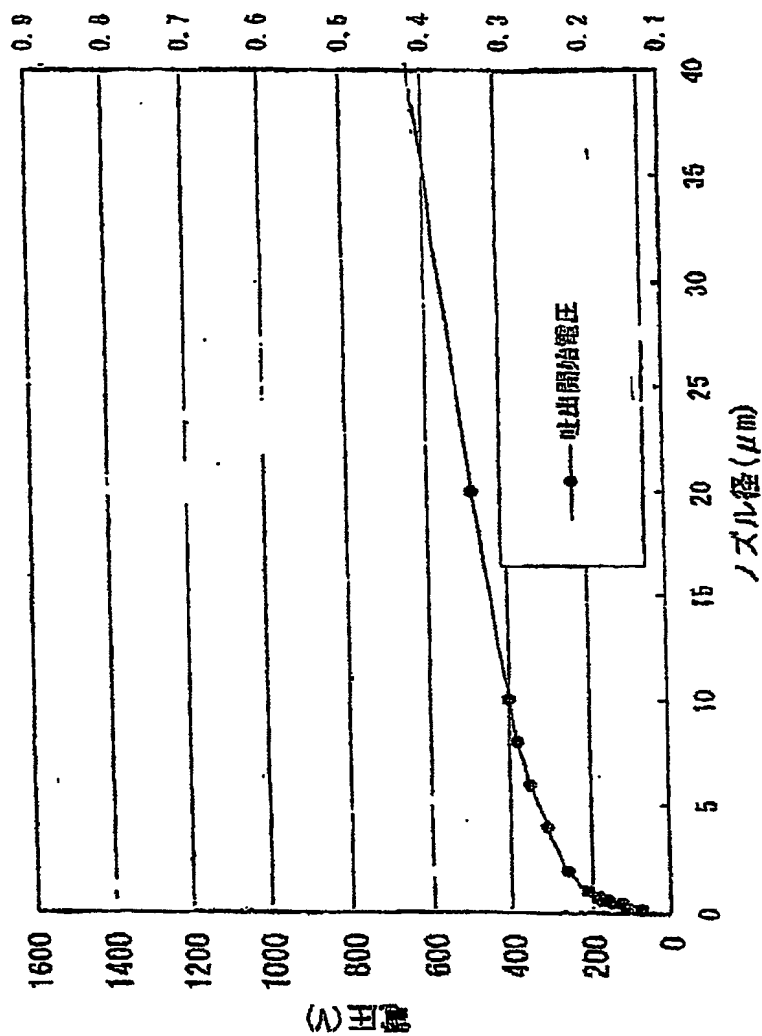
【図 7】

ノズル径 (μm)	最大電界強度 (V/m)		変動率 (%)
	ギャップ 100 (μm)	ギャップ 2000 (μm)	
0.2	2.001×10^9	2.00005×10^9	0.05
0.4	1.001×10^9	1.00005×10^9	0.09
1	0.401002×10^9	0.40005×10^9	0.24
8	0.0510196×10^9	0.05005×10^9	1.94
20	0.0210476×10^9	0.0200501×10^9	4.98
50	0.00911111×10^9	0.00805×10^9	13.18

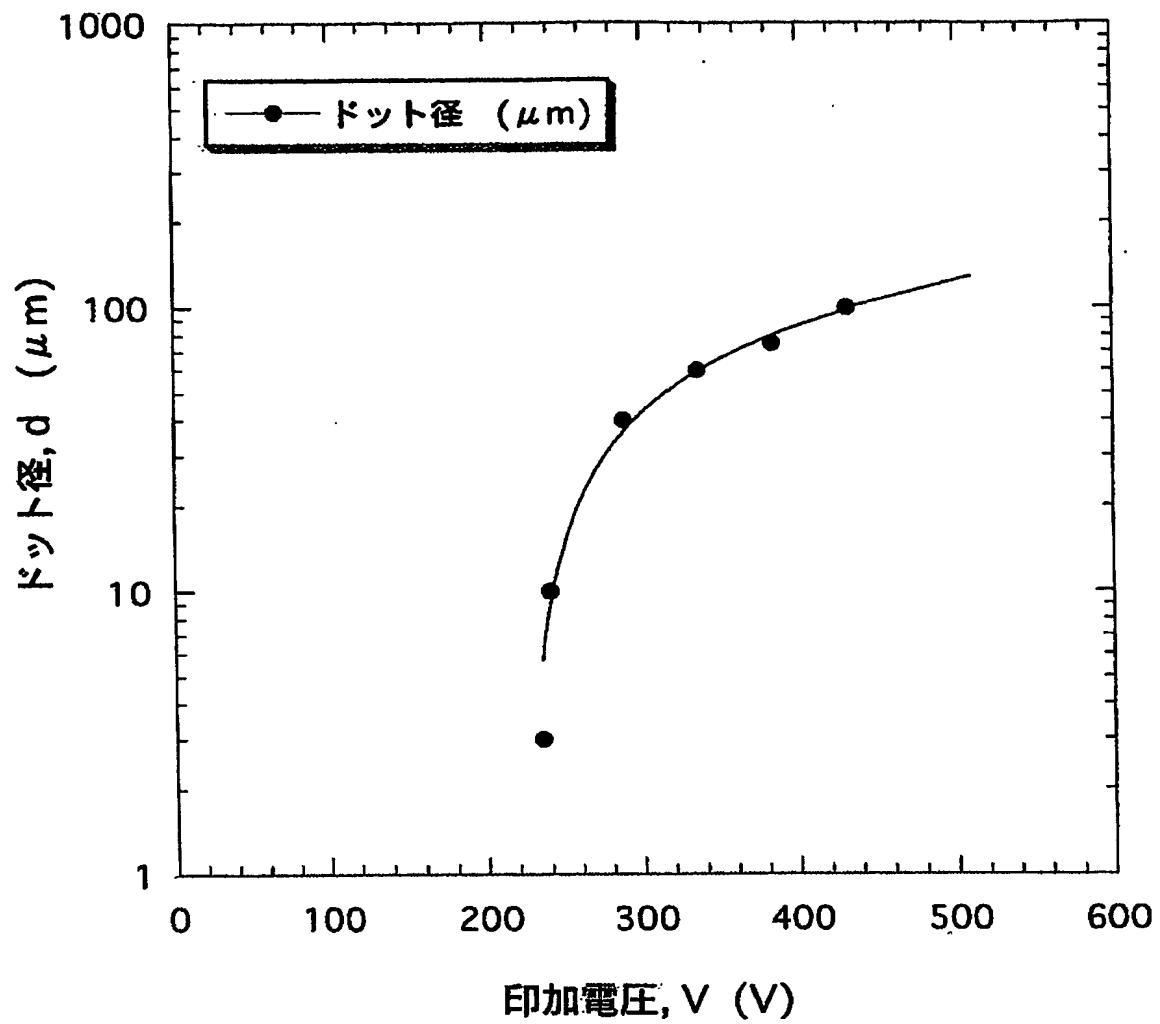
【図 8】



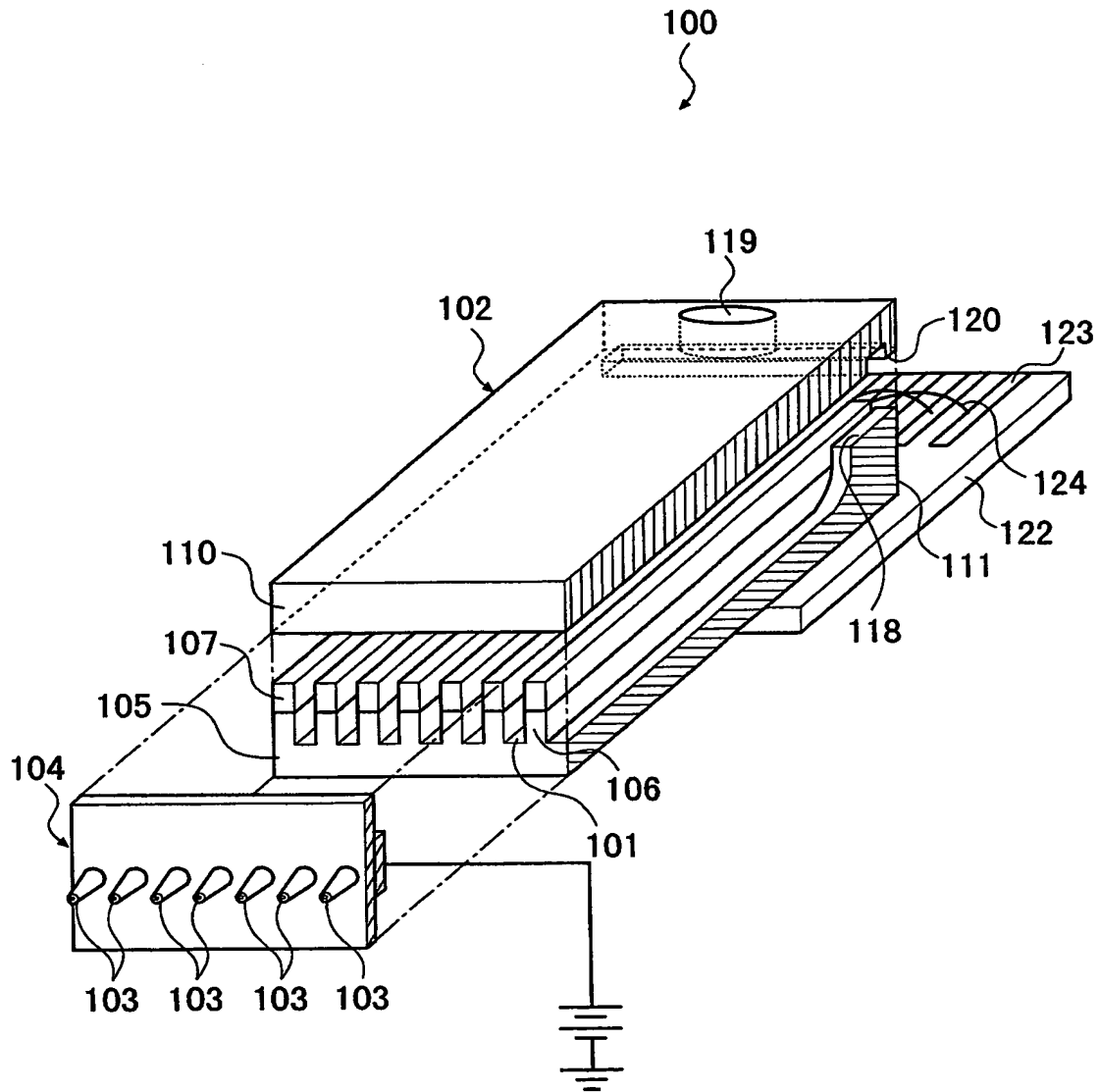
【図 9】



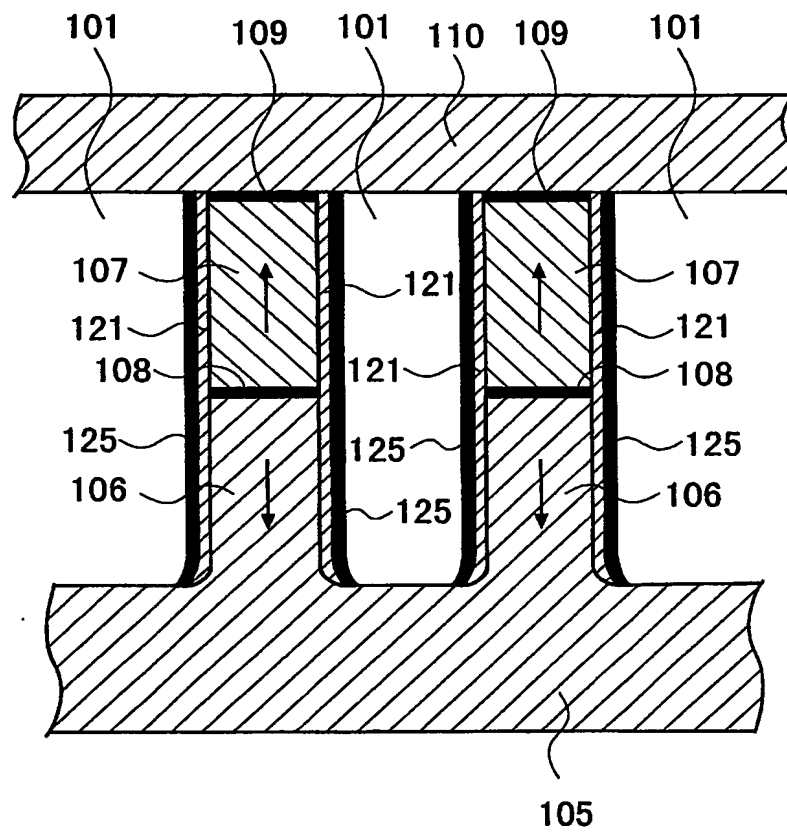
【図 10】



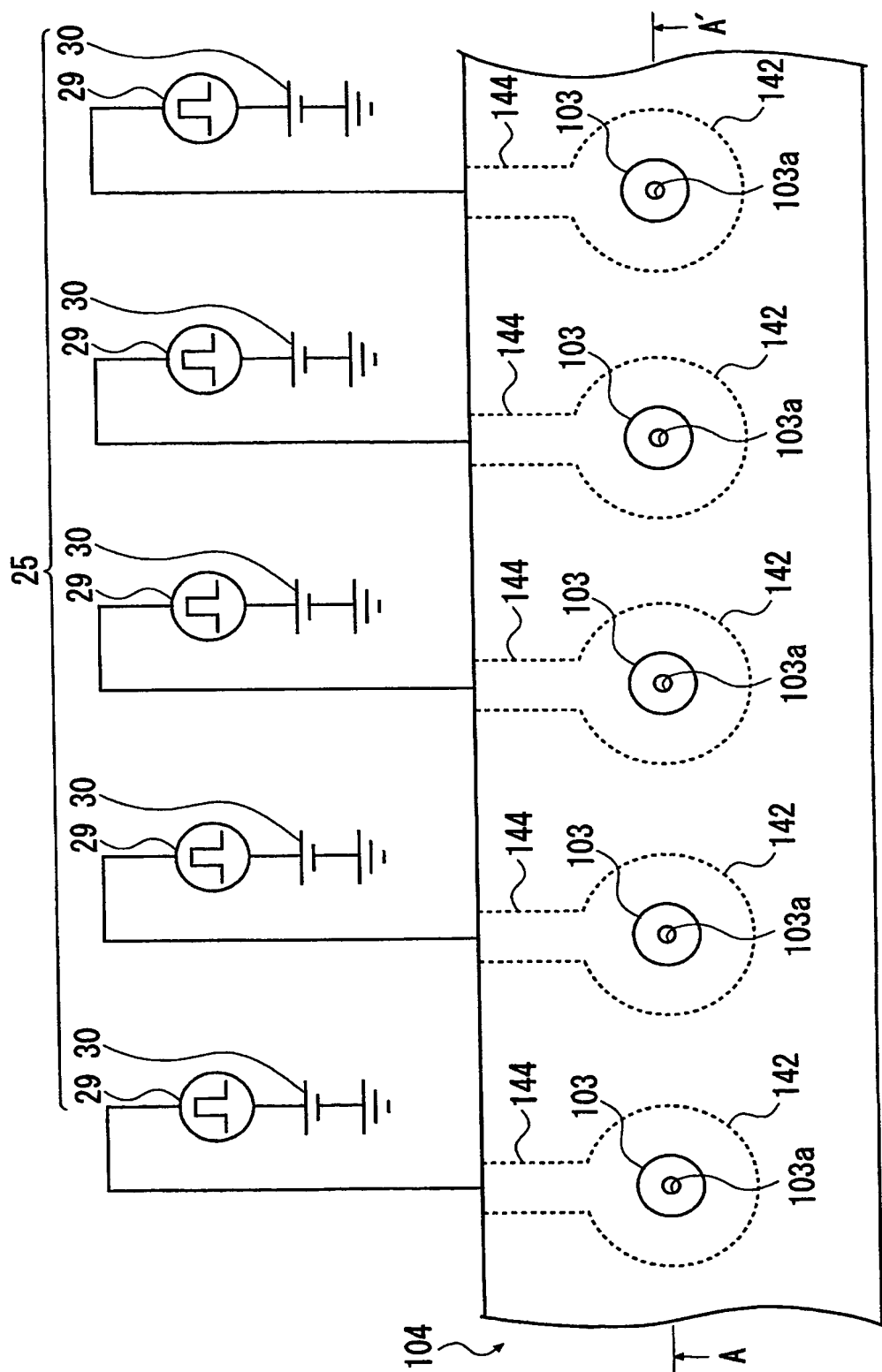
【図 11】



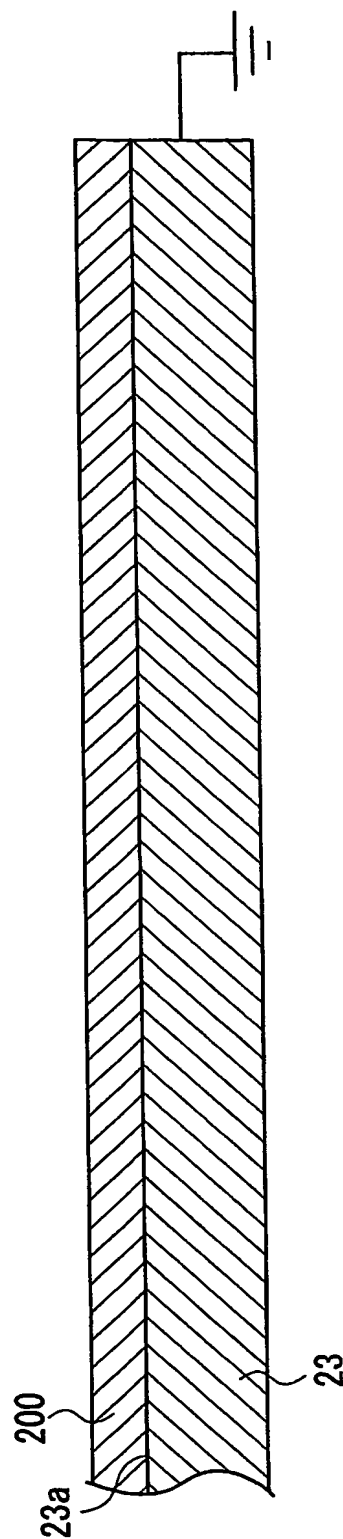
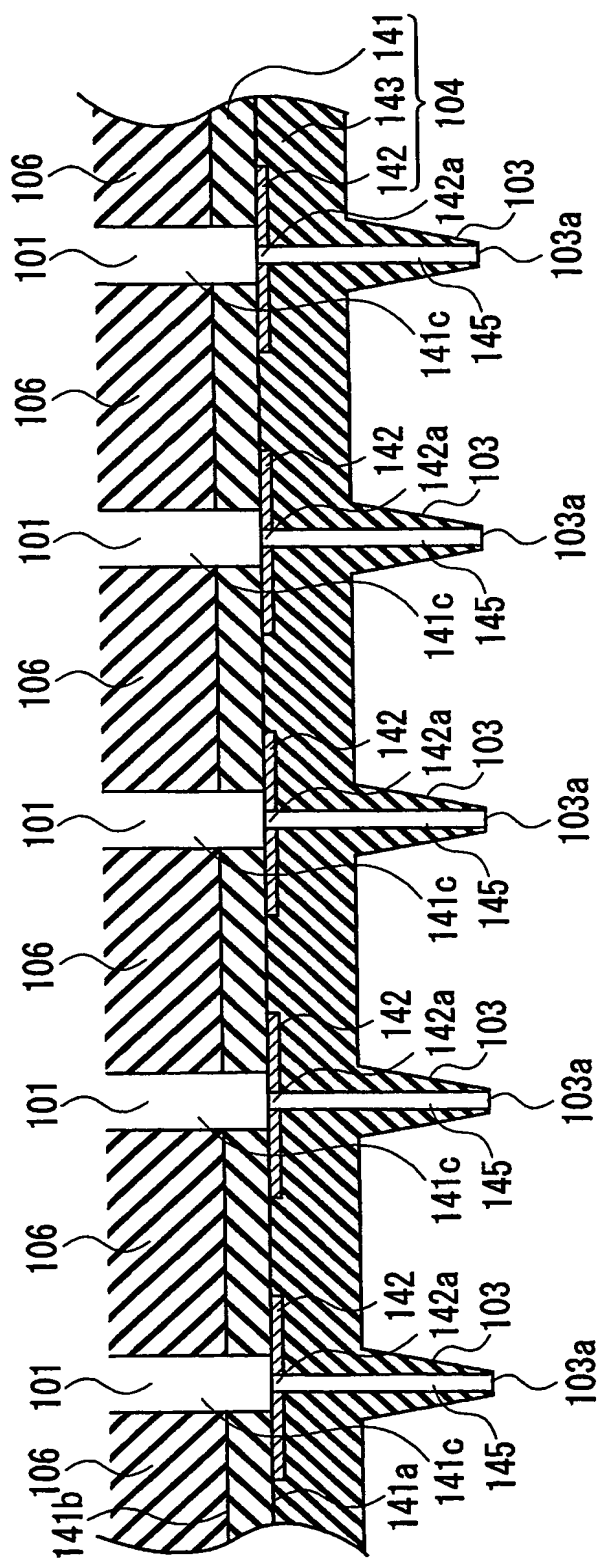
【図 12】



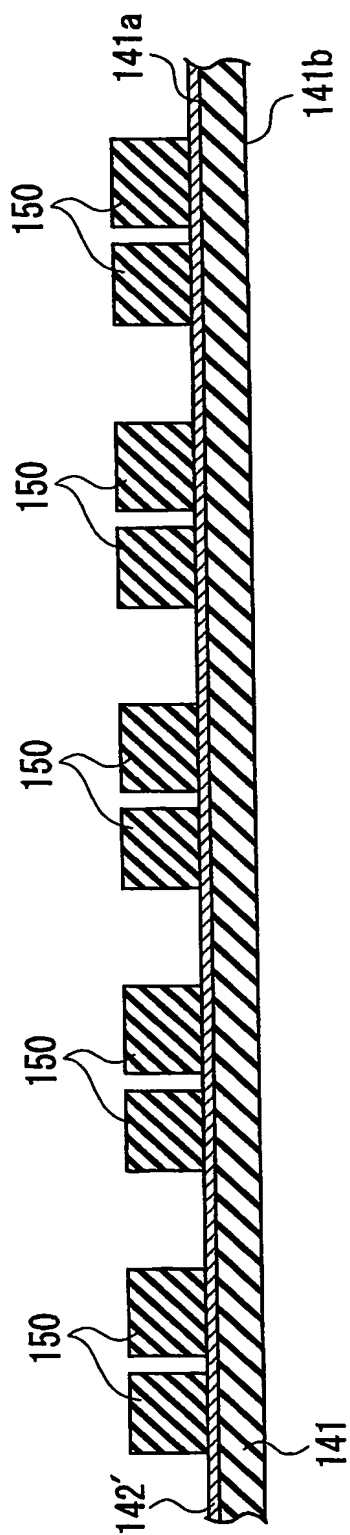
【図 13】



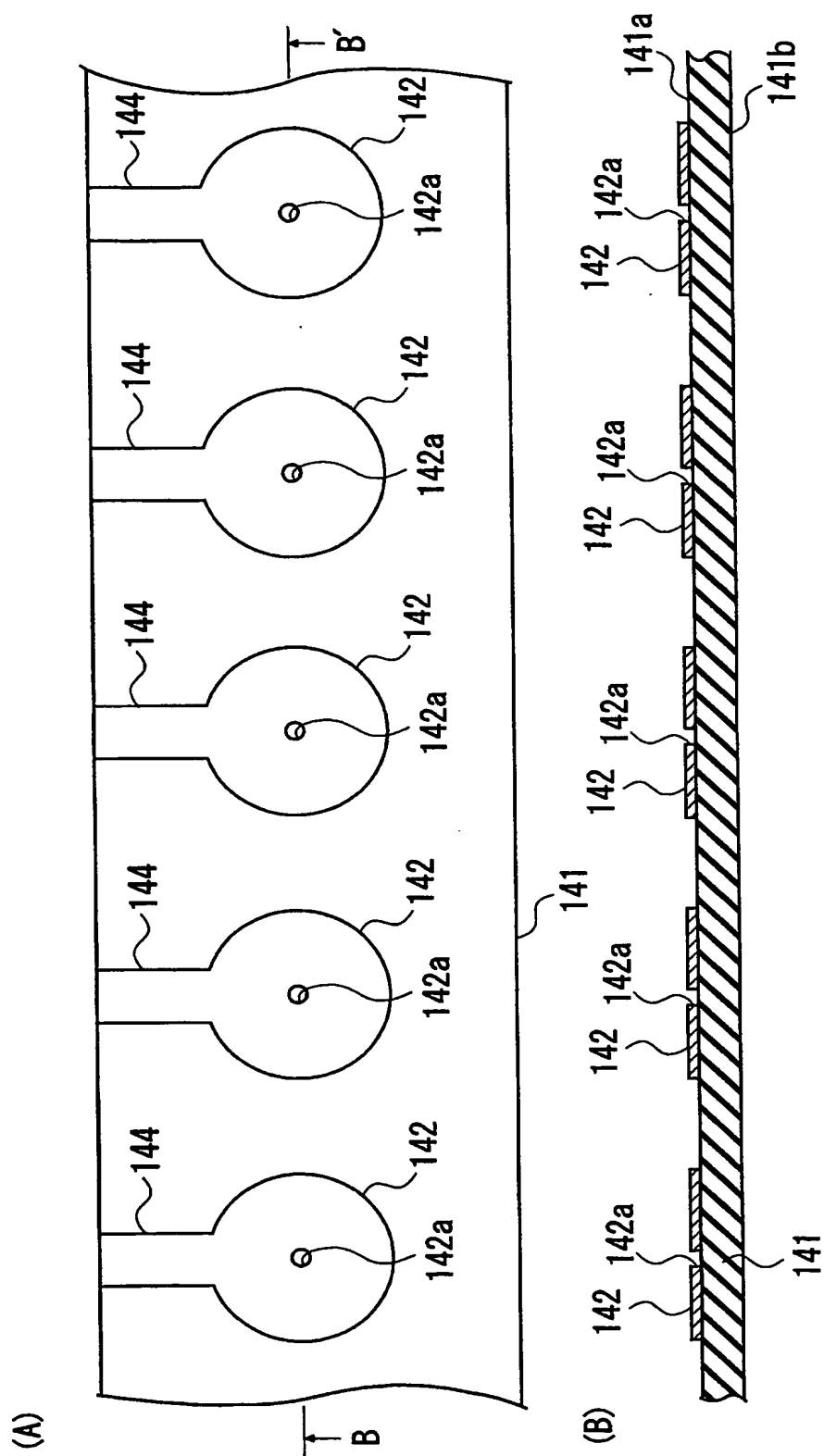
【図 14】



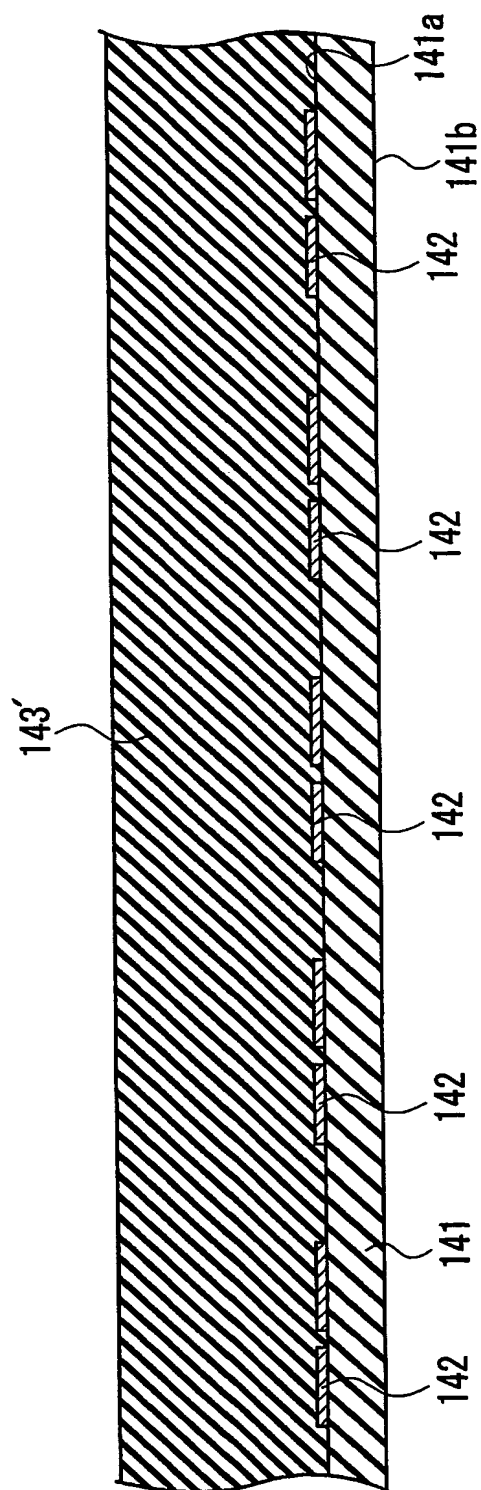
【図 15】



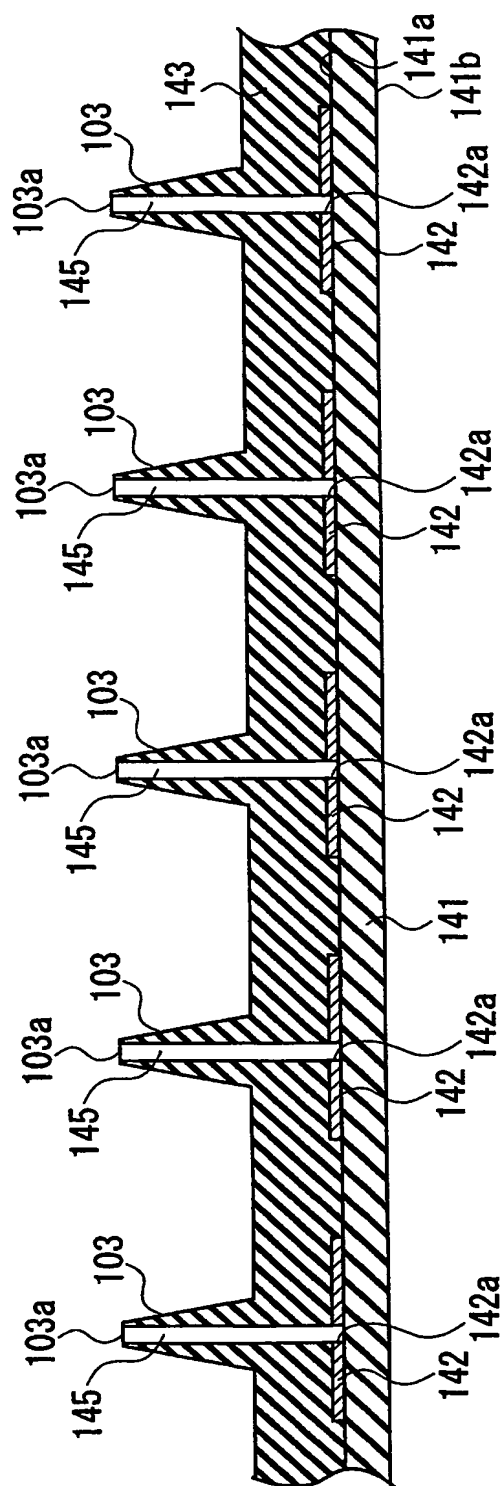
【図 16】



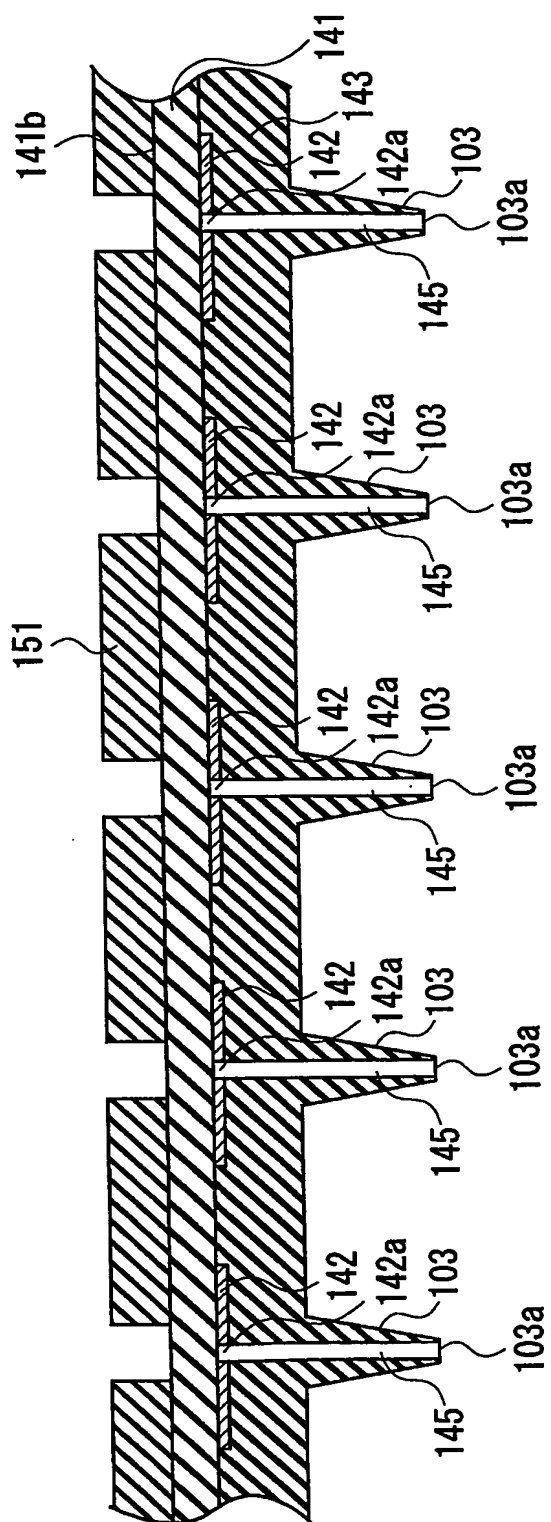
【図 17】



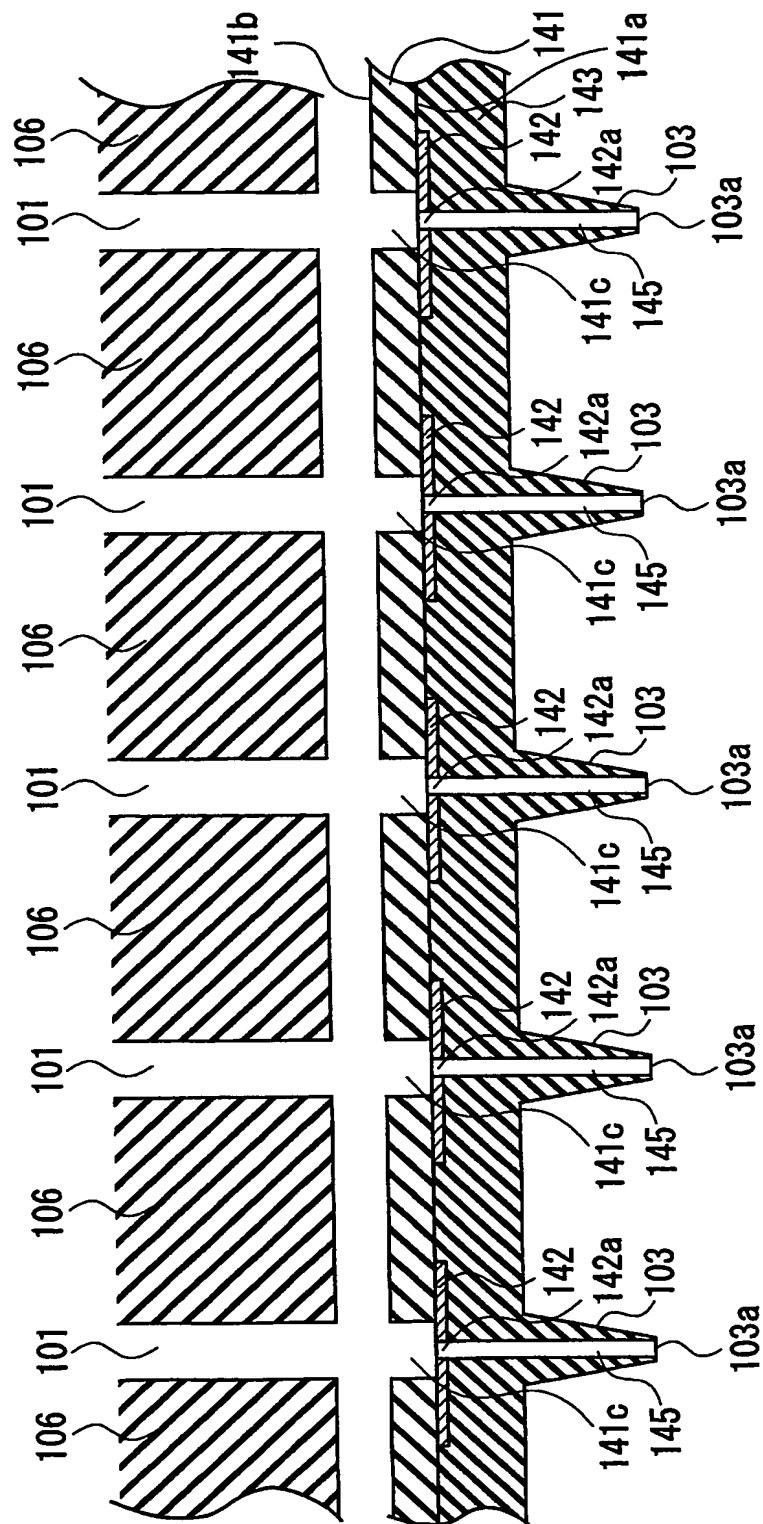
【図 18】



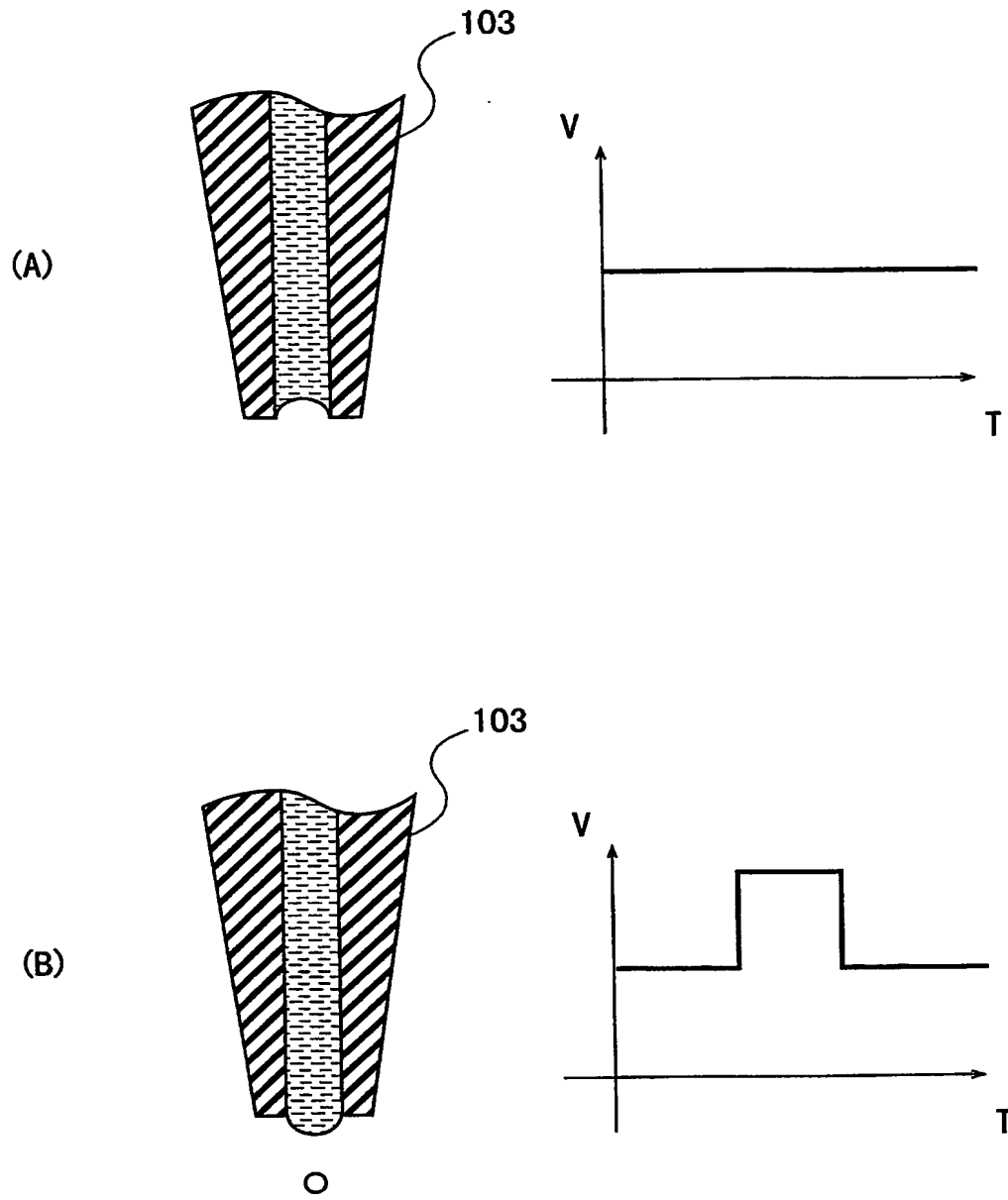
【図 19】



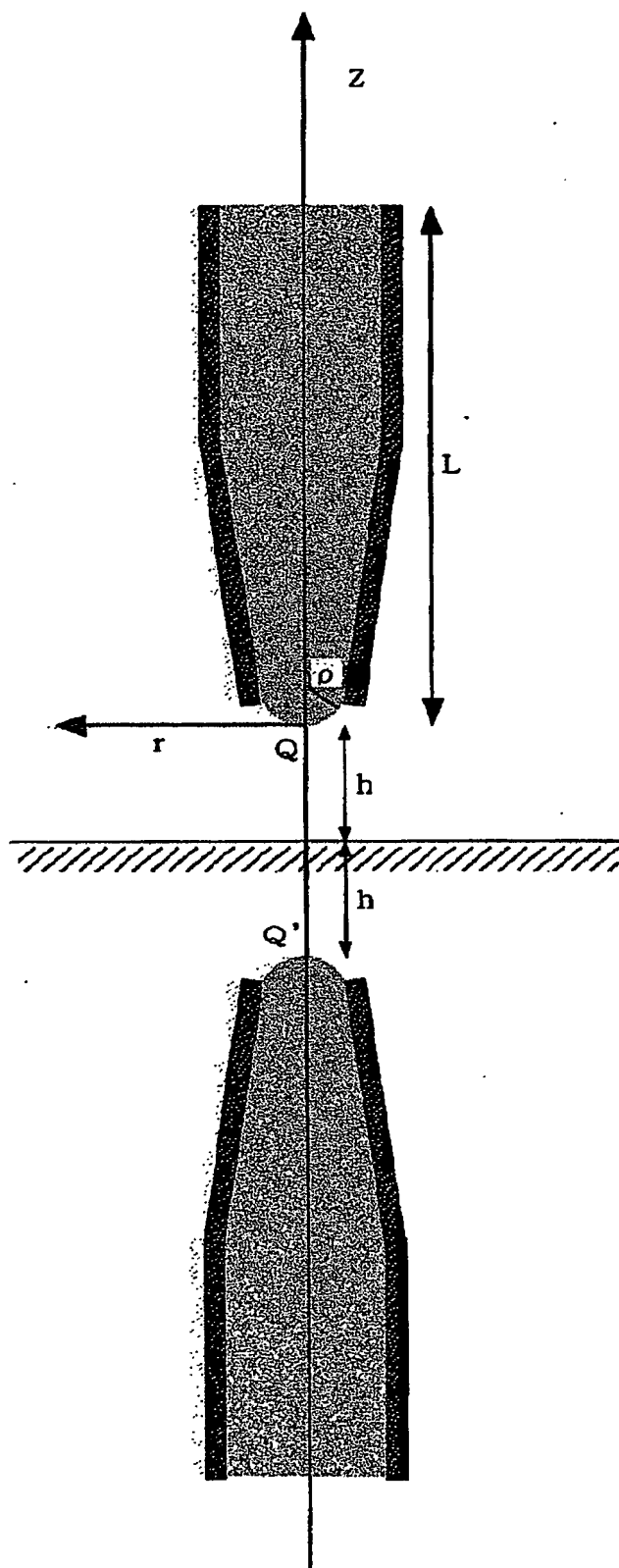
【図 20】



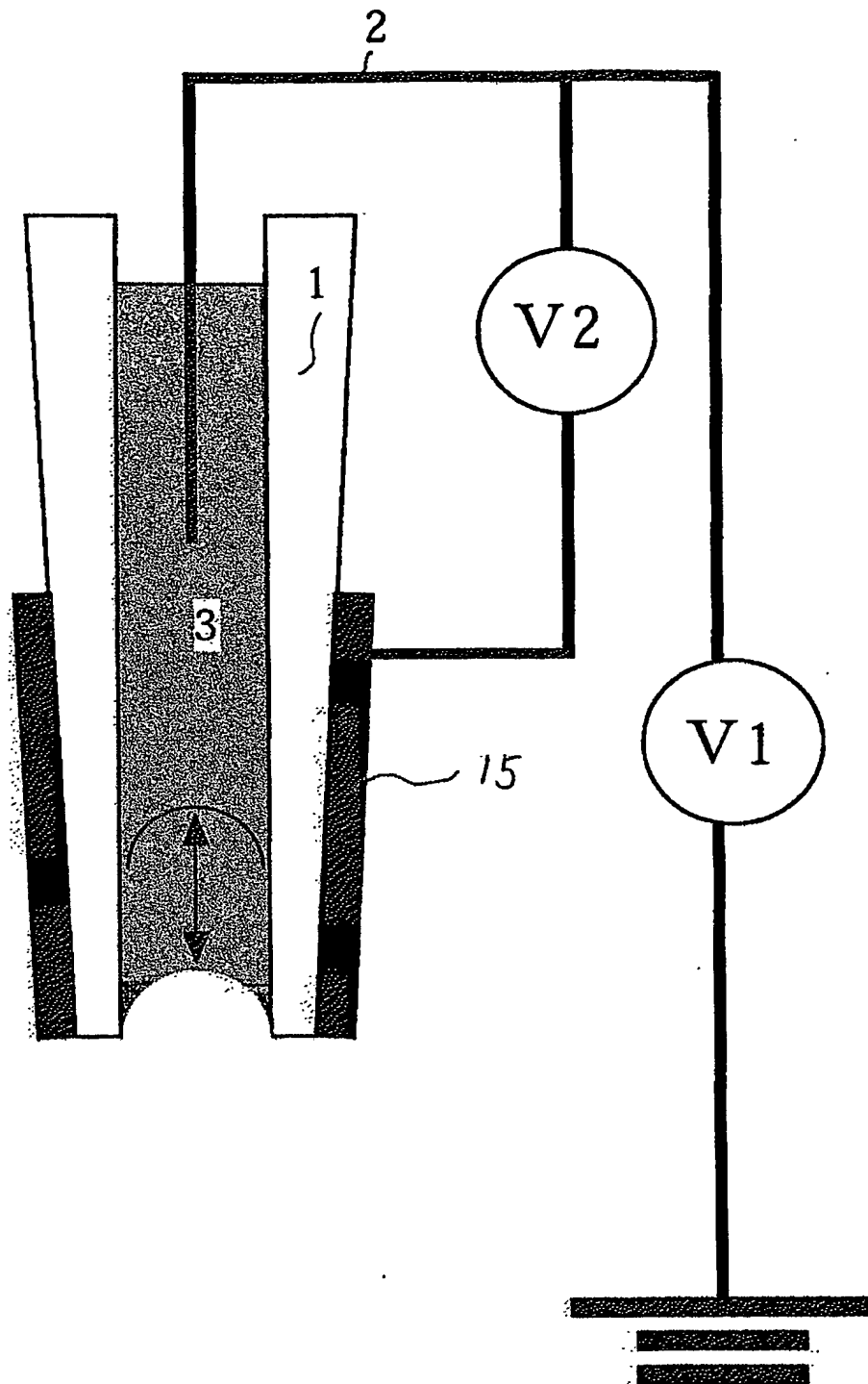
【図 21】



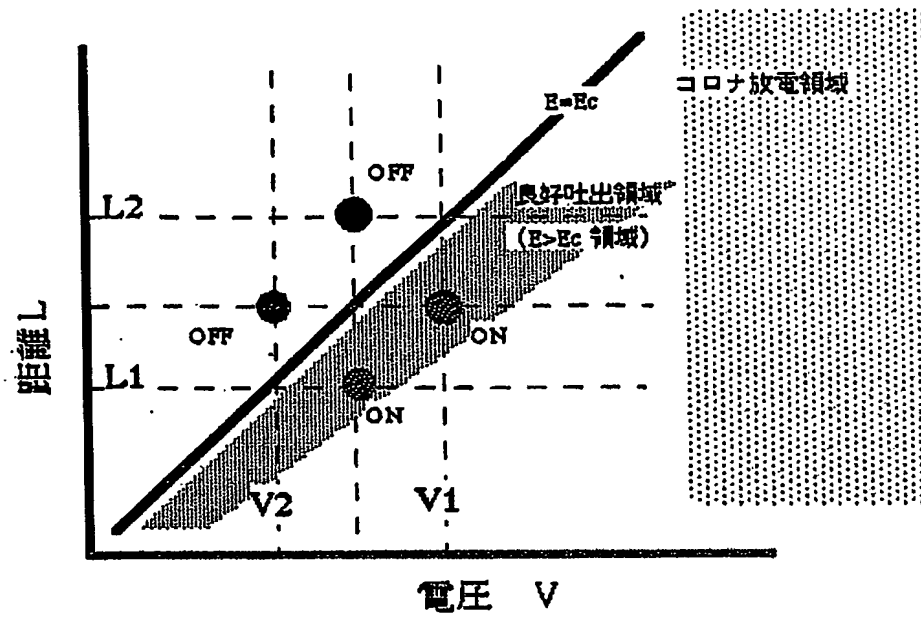
【図 22】



【図 23】



【図 24】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ノズルに先端部から溶液を液滴として噴出するヘッドにおいて、ノズル内の電極に印加すべき吐出電圧を低減し、ノズルをマルチ化することである。

【解決手段】 まず、成膜工程、フォトリソグラフィ工程及びエッチング工程を経て基板 141 上に複数の電極 142, 142, …を形成する。次に、電極 142, 142, …全体を被覆するようにして基板 141 上にレジスト層 143' を形成し、レジスト層 143' を露光・現像することによって、レジスト層 143' をそれぞれの電極 142 に対応させて基板 141 に対して立設した超微小径のノズル 103 に形成するとともに、それぞれのノズル 103 内にノズル内流路 145 を形成する。

【選択図】 図 14

特願 2002-278246

出願人履歴情報

識別番号

[000001270]

1. 変更年月日 1990年 8月14日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都新宿区西新宿1丁目26番2号
氏 名 コニカ株式会社
2. 変更年月日 2003年 8月 4日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都新宿区西新宿1丁目26番2号
氏 名 コニカミノルタホールディングス株式会社
3. 変更年月日 2003年 8月21日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号
氏 名 コニカミノルタホールディングス株式会社

特願 2 0 0 2 - 2 7 8 2 4 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 5 0 4 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

氏 名

シャープ株式会社

特願 2002-278246

出願人履歴情報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日

2001年 4月 2日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関1-3-1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.